ستفن هوكينج

وليونرد ملوندينوف



تاريخ أكثر إيجازاً للزمن



لمحة عن المؤلف

ستيفن هوكنج أستاذ كرسي لوكاس للرياضيات في جامعة كمبريدج. أما الفيزيائي ليونارد ملودينو فهو رفيقه في هذه الطبعة الجديدة. وقد قام بالتدريس في معهد كاليفورنيا للتقانة "كالتك". وكتب في "الطريق إلى النجوم": الجيل القادم. وهو مؤلف نافذة إقليدس" و"قوس قزح فينمان". وقد شارك في تأليف سلسلة للأطفال تحت عنوان "أطفال آينشتاين".

لمحة عن المترجمين

أ.د أحمد عبد الله السماحى
أستاذ الكيمياء الفيزيائية بجامعة سوهاج. ترجم وألف العديد من الكتب العلمية للمجلس الأعلى للثقافة ولدار العين للنشر وللمكتبة الأكاديمية بمصر وللمنظمة العربية للترجمة ببيروت.

أ.د فتح الله الشيخ
أستاذ الكيمياء الفيزيائية بجامعة سوهاج. ألف وترجم العديد من الكتب والمقالات العلمية للمجلس الأعلى للثقافة ولدار العين للنشر بمصر ولعالم المعرفة بالكويت وللدار العربية بليبيا وللمنظمة العربية للترجمة ببيروت.

تاريخ أكثر إيجازًا للزمن

لـ ستيفن هوكنج

وليونرد ملوندينوف

• المحتويات •

• مقدمة المترجمين •

عندما يقرر ستيفن هوكنج أن يعيد إصدار أشهر كتبه، وأشهر كتاب علمي ظهر خلال القرن العشرين، وحقق أعلى المبيعات على الإطلاق، وذلك بعد تطويره وتحديثه وتبسيطه؛ عندما يحدث ذلك فإننا نظن أن القارئ العربي يستحق أن يحصل عليه بلغته الأم. وعندما وقع نظرنا أول مرة على هذا الكتاب «تاريخ أكثر إيجازًا للزمن» عرضنا الأمر على الدكتورة فاطمة البودي - دار العين للنشر - فرحبت وشجعتنا على ذلك. وقد اكتشفنا أن ثلاثتنا الدكتورة فاطمة البودي ونحن — قد تعلمنا وتخرجنا في الكلية نفسها من الجامعة نفسها كلية العلوم في جامعة الإسكندرية، وهي الكلية نفسها التي تخرج فيها أحمد زويل، المصري الحائز على جائزة نوبل في الكيمياء، والذي يعمل الآن في معهد كاليفورنيا للتقانة «كالتك Caltech» زميلًا لأحد مؤلفي هذا الكتاب ليونارد ملودينوف.

فإلى القارئ العربي نقدم هذا العمل الرائع، الذي يتناول أكثر الأمور تطورًا وتقدمًا في علوم الفيزياء والكون بلغة سهلة، حاولنا الحفاظ عليها في الترجمة العربية ما أمكننا. والكتاب مزود بالأمثلة والصور التي تزيده وضوحًا. ونحن نشكر كل من ساهم برأي أو نصيحة؛ مقدرين لدار العين والأستاذة الدكتورة فاطمة البودي ما تبذله من جهد لتحقيق رسالة نشر العلم.

والشكر الجزيل للأستاذ **الدكتور مصطفى فهمى** على مراجعته الدقيقة والدؤوبة لمتن الكتاب.

وكل الشكر للأستاذ **الدكتور عبد الحليم عفيفي** أستاذ الفارماكولوجيا بجامعة أسيوط، الذي كان أول من لفت انتباهنا وحفزنا وأهدانا النسخة الأصلية للكتاب فور صدورها.

وبالله التوفيق..

أحمد عبد الله السماحي
فتح الله الشيخ

شكــر

الشكر للمحررة آن هاريس من «بانتام» لما منحتنا من خبرتها الكبيرة وموهبتها، في أثناء جهودنا لتحضير المخطوطة وإعدادها. والشكر لـ«جلين إيدلشتاين» المدير الفني في «بانتام» على مجهوداته التي لا تكل وصبره. والشكر للفريق الفني: فيليب دون، وچيمس نانج، وكيس فينبوس، الذين اقتطعوا من وقتهم ليدرسوا بعض الفيزياء، وليجعلوا الكتاب يبدو رائعًا من دون أن ينتقص ذلك من محتواه العلمي. والشكر للمندوبين: آل زوكرمان، وسوزان جينسبورج من «بيت الكتاب» لذكائهما وحرصهما ودعمهما.. والشكر لـ«مونيكا جاي» لقراءتها لتجارب الطباعة. والشكر لكل من تكرم وقرأ المراحل المختلفة لمخطوطة الكتاب في أثناء بحثنا من أجل التطوير والتوضيح: دونا سكوت، أليكسي ملودينو، نيكولاي ملودينو، مارك هيلاري، چوشوا ويبمان، ستيفان يورا، روبرت باركونيتس، مارتا لوثر، كاترين بول، أماندا بيرجن، چيفري بوهمر، كمبرلي كومر، بيتر كوك، ماثيو ديكنسون، درو دونوفانيك، دافيد فرالينجر، إليانور جرول، أليسا كينجستون، فيكتور لاموند، مايكل ملتون، مايكل مولهرن، ماثيو ريتشارد، ميشيل روز، سارة شميت، كوريتس سيمونز، كريستين ويب، كريستوفر رايت.

❁ تقديم ❁

يختلف عنوان هذا الكتاب (باللغة الإنجليزية) في حرفين اثنين فقط عن الكتاب الذي صدر أول مرة سنة ١٩٨٨، فقد كان «موجز تاريخ الزمن A Brief History of Time» على قائمة أفضل المبيعات في الكتب، بناء على تقييم سنداي تايمز اللندنية مدة ٢٣٧ أسبوعًا. وقد بيع منه – في المتوسط– نسخة لكل ٧٥٠ رجلًا وامرأة وطفلًا في جميع أنحاء العالم. وكان ذلك نجاحًا مدويًا لكتاب يتناول بعض أكثر الموضوعات صعوبة في الفيزياء الحديثة، إلا أن هذه الموضوعات الصعبة هي أكثر الموضوعات إثارة؛ لأنها تتناول التساؤلات الكبرى والأساسية: ما الذي نعرفه عن العالم؟ وكيف نعرف ذلك؟ ومن أين جاء هذا العالم وإلى أين يتجه؟ كانت هذه التساؤلات هي روح كتاب «موجز تاريخ الزمن»، وهي لب هذا الكتاب أيضًا.

وفي السنوات التي تلت إصدار كتاب «موجز تاريخ الزمن» جاءت ردود أفعال القراء من جميع الأعمار والمهن، ومن جميع أنحاء العالم، وقد تكرر طلب واحد مرارًا من الجميع؛ وهو إصدار طبعة جديدة، طبعة تحافظ على روح كتاب «موجز تاريخ الزمن»؛ لكنها تصف معظم المفاهيم المهمة بوضوح وبتأن. ومع أنه من المتوقع أن يطلق على مثل هذا الكتاب اسم «تاريخ أقل إيجازًا للزمن»؛ إلا أنه كان من الواضح أن قليلًا من القراء كانوا يطلبون رسالة

مطولة تناسب منهجًا جامعيًا في علم أصل الكون، وهذا هو المنطلق الحالي. وقد توسعنا أثناء كتابتنا لكتاب «تاريخ أكثر إيجازًا للزمن» في المحتوى الأساسي للكتاب الأصلي؛ إلا أننا قد راعينا أن نحتفظ بطوله وطريقة عرضه. وهذا في الواقع تاريخ أكثر إيجازًا؛ لأننا حذفنا بعض المحتويات التقنية، لكننا نشعر بأننا عوضنا ذلك بدراسة أكثر، ومعالجة الموضوعات التي تمثل لب الكتاب.

وقد انتهزنا الفرصة لتحديث الكتاب، وتضمين النتائج النظرية ونتائج المشاهدات فيه. ويصف كتاب« تاريخ أكثر إيجازًا للزمن» التقدم الحديث الذي طرأ على طريق اكتشاف نظرية موحدة شاملة لجميع القوى في الفيزياء، وبالتحديد فإن الكتاب يصف التقدم الذي حدث في نظرية الأوتار و«لازدواجيات»،أو التوافق بين النظريات المختلفة ظاهريًا في الفيزياء، والتي تدل على وجود النظرية الموحدة الشاملة في الفيزياء.أما من ناحية المشاهدات فإن الكتاب يتضمن المشاهدات المهمة جدًا،مثل تلك التي رصدها القمر الصناعي لدراسة خلفية الكون"Cosmic Background Explorer Satellite"(COPC)وصور تلسكوب هابل الفضائي.

قال فينمان منذ ما يقرب من أربعين عامًا: «نحن محظوظون لأننا نعيش في عصر ما زلنا نجري الاكتشافات فيه، ويشبه الأمر اكتشاف أمريكا، فأنت تكتشفها مرة واحدة فقط. والعصر الذي نعيش فيه هو العصر الذي نكتشف فيه القوانين الأساسية للطبيعة». واليوم نحن أقرب ما نكون لفهم طبيعة العالم عن أي وقت مضى. وهدفنا من كتابة هذا الكتاب هو أن نتشارك معكم في بعض الإثارة من هذه الاكتشافات، ومن الصورة الجديدة للواقع الذي يبزغ نتيجة ذلك.

١٠
التفكير في العالم

نحن نعيش في عالم غريب ورائع، فعمره وحجمه والعنف الذي يحتويه وجماله؛ كل ذلك يتطلب خيالًا فوق العادة لإدراكه، وقد يبدو المكان الذي نشغله – نحن البشر – في هذا الكون الشاسع ضئيلًا إلى حد كبير، ولذا فإننا نحاول أن نفهمه، وأن ندرك موقعنا منه. ومنذ بضعة عقود مضت ألقى عالم مشهور – (يقال إنه برتراند راسل) – محاضرة عامة عن الفلك، إذ وصف فيها العالم دوران الأرض حول الشمس، وكيفية دوران الشمس حول مركز لتجمع هائل من النجوم تسمى مجرتنا، وفي نهاية المحاضرة وقفت سيدة عجوز دقيقة الحجم - كانت جالسة في نهاية القاعة – وقالت: «إن ما تقوله هراء، فالدنيا في الحقيقة مسطحة ومستوية ومحمولة فوق ظهر سلحفاة عملاقة». وبعد ابتسامة عريضة أجاب العالم: «وما الذي تقف عليه السلحفاة؟». فقالت السيدة العجوز «إنك شاب ماهر جدًا، ماهر جدًا بالفعل، إنها سلاحف متراصة بعضها فوق بعض!».

ويعتقد معظم الناس اليوم أن فكرة كون العالم محمولًا على عدد لا نهائي من السلاحف شيء سخيف، لكن ما الذي يجعلنا نعتقد أننا أكثر دراية؟ فلتنس ما تعرفه - أو ما تظن أنك تعرفه - عن الفضاء، ثم حدِّق في السماء فوقك ليلًا، ماالذي تدركه من كل هذه النقاط المضيئة؟ هل هي نيران دقيقة؟ قد يكون من الصعب تخيل حقيقة هذه النقاط؛ لأنها في الواقع

أبعد كثيرًا من خبرتنا العادية. وإذا كنت من هواة مراقبة النجوم بانتظام، فإنك من المحتمل أن تكون قد رأيت ضوءًا مراوغًا بالقرب من الأفق عند الشفق، إنه الكوكب عطارد الذي يختلف تمامًا عن كوكبنا، فطول اليوم على الكوكب عطارد يساوي ثلثي عام أرضي، وتصل درجة حرارة سطحه إلى أكثر من ٤٠٠ درجة سلزية عندما تسطع الشمس، ثم تنخفض إلى ما يقرب من ٢٠٠ درجة سلزية تحت الصفر في قلب الليل. وعلى الرغم من اختلاف عطارد عن كوكبنا إلا أنه ليس من الصعوبة أن نتصوره كنجم؛ فالنجم فرن ضخم تحترق فيه بلايين الأرطال من المادة في الثانية الواحدة، وتصل درجة الحرارة إلى عشرات الملايين في قلب النجم.

وهناك شيء آخر من الصعب تخيله؛ وهو البعد الحقيقي لهذه الكواكب والنجوم عنا، وقد شيد الصينيون القدماء بروجًا حجرية ليتمكنوا من رؤية النجوم عن قرب، فمن الطبيعي أن نفكر أن النجوم والكواكب أقرب كثيرًا مما هي عليه في

الحقيقة، وعلى كل فإننا لا نملك في حياتنا اليومية أي خبرة بالمسافات الشاسعة في الفضاء؛ فتلك المسافات من الكبر إلى درجة لا يمكن أن نتصور بأننا نستطيع قياسها بالأميال والأقدام، كما نقيس معظم الأطوال العادية. ونستخدم بدلًا من ذلك السنة الضوئية؛ وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة، إذ يقطع شعاع الضوء ١٨٦٠٠٠ ميل (٣٠٠٠٠٠ كيلومتر)[*] في الثانية الواحدة، ويعني ذلك أن السنة الضوئية مسافة كبيرة جدًا، وأقرب النجوم إلينا بعد الشمس هو النجم المسمى «بروكسيما قنطورس» أو «قنطور القريب» (Proxima Centauri)، ويعرف كذلك باسم «ألفا قنطورس» (Alpha Centauri C)، ويبعد عنا أربع سنوات ضوئية، وهي مسافة بعيدة جدًا إذ تحتاج أسرع السفن الفضائية إلى عشرات الآلاف من السنين لقطعها.

حاول القدماء جاهدين أن يفهموا العالم؛ لكن لم يكن لديهم ما لدينا من تطور في الرياضيات والعلوم، فنحن نملك أدوات قوية؛ أدوات ذهنية مثل الرياضيات والمنهج العلمي، وأدوات تقنية مثل الكمبيوتر والتلسكوبات. وقد تمكن العلماء بمساعدة هذه الأدوات من تجميع كثير من المعارف عن الفضاء. لكن ما الذي نعرفه في الحقيقة عن الكون، وكيف

توصلنا إلى هذه المعرفة؟ ومن أين جاء العالم؟ وإلى أين يتجه؟ وهل كان للعالم بداية، وإذا كان ذلك صحيحًا فماذا حدث قبلها؟ وما كنه الزمن؟ وهل سيصل الزمن إلى نهاية ما؟ وهل نستطيع السفر في الماضي؟ وقد جعلت بعض الإنجازات الكبرى في الفيزياء من الممكن الإجابة عن بعض هذه الأسئلة الأبدية جزئيًا بفضل التقنيات الحديثة، وقد تصبح هذه الأمور يومًا ما بادية الوضوح لنا مثل دوران الأرض حول الشمس، أو ربما مثل سخافة فكرة برج من السلاحف، والزمن فقط؛ أيًا ما كان ذلك الذي سينبئنا بالإجابة.

٢

الصورة المتطورة للعالم

على الرغم من أنه من الشائع – منذ أيام كريستوفر كولمبس – أن تجد أناسًا يعتقدون أن الأرض مسطحة وحتى يومنا هذا من الممكن أن تجد قليلًا من أمثال هؤلاء الناس؛ فإننا نجد جذور علم الفلك الحديث عند الإغريق القدماء، فقد كتب الفيلسوف الإغريقي أرسطو سنة ٣٤٠ ق. م. كتابًا اسمه «عن السماوات»، أورد فيه حججًا قوية بأن الأرض كروية، وليست مسطحة مثل طبق.

وقد قام أحد هذه البراهين على ظاهرة خسوف القمر، كان أرسطو يوقن أن سبب الخسوف هو وجود الأرض بين القمر والشمس، وعندما يحدث ذلك فإن الأرض تطبع ظلها على القمر مسببة الخسوف. لاحظ أرسطو أن ظل الأرض دائمًا مستدير، وهذا هو المتوقع إذا كانت الأرض كرة وليست قرصًا مسطحًا، فلو كانت الأرض قرصًا مسطحًا لكان ظلها دائريًا فقط إذا حدث الخسوف والشمس عمودية مباشرة على مركز القرص، وفي المرات الأخرى يكون الظل ممدودًا على شكل بيضاوي (على شكل دائرة ممدودة).

وكان لدى الإغريق برهان آخر على كروية الأرض؛ فلو كانت الأرض مسطحة لكان من المتوقع أن تبدو السفينة التي تقترب نحونا من الأفق كنقطة دقيقة بلا ملامح، وكلما اقتربت

السفينة ستظهر تفاصيلها بالتدريج، مثل الشراع والبدن، لكن ذلك لا يحدث؛ فعندما تظهر السفينة في الأفق فإن أول ما نشاهده منها هو الشراع وبعد ذلك البدن، وحقيقة أن أول ما يظهر من السفينة هو الساري الذي يرتفع عاليًا فوق البدن تدل على أن الأرض كروية.

وقد اهتم الإغريق كثيرًا بالسماء الليلية، وكان الناس في عصر أرسطو قد ظلوا لقرون طويلة يسجلون حركة الضوء في السماء ليلًا،وقد لاحظوا أنه على الرغم من أن غالبية الآلاف من الأضواء التي يرونها تتحرك معًا عبر السماء؛ إلا أن خمسة من هذه الأضواء -بخلافالقمر- لم تكن تتحرك معها، كانت هذه الأضواء الخمسة تتحرك في اتجاه شرق - غرب ثم تعود أدراجها.



قادمة من الأفق
بما أن الأرض كروية فإن الساري والشراع هما أول ما يظهر من السفينة
فوق الأفق قبل البدن

أُطلق على هذه الأضواء اسم الكواكب (Planets) وهي كلمة إغريقية تعني «الطوَّاف»، و لم يلاحظ الإغريق إلاَّ خمسة كواكب، لأننا لا يمكن أن نرى بالعين المجردة إلاَّ هذه الخمسة فقط؛ وهي: عطارد والزهرة والمريخ والمشترى وزحل، ونحن نعرف الآن السبب في المسار غير العادي لهذه الكواكب عبر السماء، فعلى الرغم من أن النجوم تكاد لا تتحرك بالنسبة للمجموعة الشمسية؛ إلا أن الكواكب تدور حول الشمس، ولذا فإن حركتها في السماء يلًا أكثر تعقيدًا من حركة النجوم البعيدة.

كان أرسطو يعتقد أن الأرض مستقرة وساكنة، وأن الشمس والقمر والكواكب والنجوم تتحرك في مدارات دائرية حولها، ويرجع هذا الاعتقاد إلى أسباب دينية تجعل من الأرض مركز العالم، وأن الحركة الدائرية هي الحركة التامة. وفي القرن الثاني الميلادي حول بطليموس الإغريقي هذه الفكرة إلى نموذج متكامل للسماوات، وكان بطليموس شديد التحمس لدراساته حول هذا النموذج، وقد كتب يقول: «عندما كنت أتتبع بسعادة هذا العدد الكبير من النجوم في مساراتها الدائرية؛ كنت أشعر أن قدميَّ لا تلامسان الأرض».

كان نموذج بطليموس يحتوي على ثمان كرات تدور وهي محيطة بالأرض، وكانت كل كرة أكبر من التي قبلها، فيما يشبه إلى حد ما الدمية الروسية «عش العرائس»(*) وتقع الأرض في مركز الكرات، أما ما هو خارج الكرات فلم يكن واضحًا أبدًا؛ لكنه من المؤكد لم يكن في حدود الكون الذي يشاهده البشر. وعليه فإن الكرة الأخيرة الخارجية كانت هي الحدود ووعاء العالم، وكانت النجوم تظل في أماكنها نفسها بالنسبة إلى بعضها بعضًا عند دوران الكرة، وتتحرك كوحدة واحدة عبر السماء، تمامًا كما نشاهدها، وتحمل الكرات الداخلية الكواكب. لم تكن الكواكب مثبتة – كل منها في كرته – كما في حالة النجوم؛ لكنها كانت تتحرك على كراتها في دوائر صغرى تسمى أفلاكًا تدويرية، وبحركة الكرات الكوكبية وحركة الكواكب نفسها على أسطح هذه الكرات؛ فإن مساراتها تتعقد كثيرًا بالنسبة للأرض، وقد تمكن بطليموس بهذه الطريقة أن يفسر سبب المسارات المعقدة للكواكب، وعدم دورانها في دوائر بسيطة عبر السماء.

(*) عدد من العرائس الخشبية عندما تفتح إحداها تجد أخرى في داخلها، وثالثة في داخل الثانية ثم رابعة في داخل الثالثة وهكذا واسمها «ماتروشكا» (المترجمان).

وقد قدم نموذج بطليموس نظاما دقيقا إلى حدما للتنبؤ بموقع الأجرام السماوية، ولكن للتنبؤ بهذه المواقع بدقة، كان لابد أن يفترض بطليموس أن القمر يتبع مسارًا يقترب من الأرض إلى نصف المسافة التي يكون فيها عادة. ويعني ذلك أن القمر لابد أن يظهر في بعض الأحيان بضعف حجمه في الأحيان الأخرى! أقر بطليموس بهذا العجز في نموذجه، إلا أن نموذجه كان مقبولًا، ولكن على وجه العموم وليس في كل العالم، وقد تبنت الكنيسة المسيحية هذا النموذج بوصفه صورة للعالم المتوافق مع النصوص؛ لأن هناك ميزة هائلة في النموذج تكمن في أنه قد ترك حيزًا كبيرًا خارج كرة النجوم الثابتة للجنة والنار.



نموذج بطليموس
في نموذج بطليموس تقع الأرض في مركز العالم محاطة بثمان كرات
تحمل كل الأجرام السماوية المعروفة

ثم اقترح القس البولندي نيقولاس كوبرنيكوس نموذجًا آخر سنة ١٥١٤، وقد نشره في البداية من دون ذكر اسمه خوفًا من اتهام الكنيسة له بالهرطقة. كان لدى كوبرنيكوس اعتقاد ثوري بأنه ليست كل الأجرام السماوية تدور حول الأرض، وفي الحقيقة قامت فكرته على أساس أن الشمس ثابتة في مركز المجموعة الشمسية، وأن الأرض والكواكب تدور في أفلاك دائرية حول الشمس. وكما هو الحال في نموذج بطليموس كان نموذج كوبرنيكوس يعمل جيدًا؛ لكنه لم يكن يطابق تمامًا ما يشاهده الناس، ولما كان هذا النموذج أبسط كثيرًا من نموذج بطليموس فربما يتوقع المرء أن يعتنقه الناس، لكن احتاج الأمر بعد ذلك إلى قرن كامل من الزمان ليأخذه الناس مأخذ الجد، عندما جاء فلكيان هما الألماني جوهانس كبلر (Johannes Kepler) والإيطالي جاليليو جاليلي (Galileo Galilei) ودعما نظرية كوبرنيكوس علنًا أمام الملأ.

بدأ جاليليو سنة ١٦٠٩ مراقبة السماء ليلًا بواسطة التلسكوب الذي كان من أحدث المبتكرات وقتها، وعندما وجه نظره ناحية كوكب المشتري اكتشف جاليليو أن عددًا من التوابع أو الأقمار الصغيرة تدور حوله؛ مما يعني أنه ليس بالضرورة أن يدور كل شيء مباشرة حول الأرض، كما كان يعتقد أرسطو وبطليموس. وفي الوقت نفسه قام كبلر بتطوير نظرية كوبرنيكوس مقترحًا أن الكواكب تدور في مدارات بيضاوية وليست دائرية، وبهذا التغيير حدث فجأة أن توافقت توقعات النظرية مع المشاهدة، وكانت هذه هي الضربة القاضية لنموذج بطليموس.

وعلى الرغم من أن المدارات البيضاوية قد حسنت من نموذج كوبرنيكوس؛ إلا أنها لم تكن بالنسبة لكبلر إلا فرضية بديلة مؤقتة، ولأن كبلر كان يعتنق مسبقًا أفكارًا عن الطبيعة لا تستند على أي مشاهدة؛ فإنه كان مثل أرسطو يعتقد أن الأشكال البيضاوية أقل كمالًا من الدائرية، وقد صدمته فكرة أن الكواكب تدور في مسارات غير مثالية كحقيقة نهائية. والأمر الآخر الذي أزعج كبلر أنه لم يتمكن من مواءمة المدارات البيضاوية مع فكرته عن دوران الكواكب حول الشمس بفعل القوى المغناطيسية، وعلى الرغم من خطأ كبلر حول القوى المغناطيسية بوصفها سببًا في دوران الكواكب؛ إلا أن له شرف السبق في التيقن بأن هناك قوة مسؤولة عن حركة الكواكب. أما التفسير الحقيقي لدوران الكواكب حول الشمس فقد

جاء بعد ذلك بكثير في سنة ١٦٨٧، عندما نشر سير إسحق نيوتن كتابه «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية Philosophiae Naturalis Principia Mathemtica»، والذي يعد أهم عمل فريد ينشر في العلوم الفيزيائية على الإطلاق.

قدم نيوتن في هذا الكتاب قانونًا ينص على أن: كل الأشياء الساكنة تظل ساكنة ما لم تؤثر فيها قوة ما، وشرح نيوتن كيف تجعل هذه القوة جسمًا ما يتحرك أو يغير من حركته. لماذا إذن تتحرك الكواكب في مدارات بيضاوية حول الشمس؟ قال نيوتن إن هناك قوة معينة هي المسؤولة عن ذلك، وادعى أنها القوة نفسها التي تجعل الأشياء تسقط نحو الأرض ولا تظل ساكنة إذا ما تركناها. وقد أطلق عليها اسم «الجاذبية Gravity»، كانت هذه الكلمة تعني المزاج الجاد أو خاصية الثقل قبل نيوتن. كما ابتكر نيوتن كذلك الرياضيات التي توضح عدديًا رد فعل الأجسام تجاه قوة مثل الجاذبية عندما تؤثر فيها، كما أنه حل المعادلات الناتجة عن ذلك. واستطاع نيوتن بهذه الطريقة أن يثبت أن الأرض والكواكب الأخرى لابد أن تتحرك حركة بيضاوية بسبب جاذبية الشمس، كما تنبأ كبلر! ادعى نيوتن أن قوانينه تنطبق على كل شيء في العالم؛ بدءًا بسقوط تفاحة وحتى النجوم والكواكب. كانت هذه المرة الأولى في التاريخ التي يفسر فيها أحد حركة الكواكب بمعلومية القوانين التي تحكم كذلك الحركة على الأرض، وكان ذلك بداية كل من الفيزياء الحديثة وعلم الفلك الحديث.

وفي غيبة كرات بطليموس لم يعد هناك سبب لافتراض وجود حدود طبيعية للكون، والتي كانت تمثلها الكرة الخارجية في نموذج بطليموس. وما هو أكثر من ذلك – ولاسيما أن النجوم بدت وكأنها لا تغير من مكانها، فيما عدا الدوران عبر السماء، نتيجة لدوران الأرض حول محورها – أنه أصبح من الطبيعي أن نفترض أن النجوم ما هي إلا أجرام مثل الشمس لكنها بعيدة جدًا. وهكذا لم نتخل عن فكرة أن الأرض هي مركز العالم فحسب؛ بل تخلينا عن فكرة أن الشمس – وربما المجموعة الشمسية نفسها – من الأشياء الفريدة في الكون، وقد مثّل هذا التغير في نظرتنا إلى العالم تحولًا مدويًا في الفكر الإنساني؛ أو بداية الفهم العلمي الحديث للعالم.

• ٣٠ •

كنه النظرية العلمية

لكي نتحدث عن كنه العالم، أو نناقش سؤالًا مثل: هل هناك بداية للكون، أو هل له نهاية؟ لابد أن نوضح ما هي النظرية العلمية، ولنأخذ الفكرة البسيطة التي تقول: إن النظرية نموذج للعالم أو لجزء محدود منه، مع مجموعة القواعد التي تربط الكميات في النموذج مع مشاهداتنا. ولا يوجد هذا الأمر إلا في أذهاننا، وليس له أي واقع آخر، مهما كان ذلك يعنيه. وتعد النظرية جيدة إذا حققت شرطين؛ فهي لابد أن تصف بدقة مجموعة كبيرة من المشاهدات على أساس نموذج يحتوي على عدد قليل من العناصر الاختيارية فحسب، كما أنها لابد أن تقدم تنبؤات محددة حول نتائج المشاهدات مستقبلًا. فعلى سبيل المثال اعتنق أرسطو نظرية إمبيدوكليس Empedocle's، التي تنص على أن كل شيء يتكون من أربعة عناصر: الأرض والهواء والنار والماء؛ كان ذلك بسيطًا لكنه لم يقدم تنبؤًا محددًا. ومن جهة أخرى فإن نظرية نيوتن عن الجاذبية استندت على نموذج أبسط من ذلك؛ إذ تنجذب الأجسام إلى بعضها بعضًا في هذا النموذج، بقوة تتناسب مع كمية أطلق عليها اسم الكتلة، وعكسيًا مع مربع المسافة بينها. وبخلاف ذلك فإن النظرية تتنبأ بحركة كل من الشمس والقمر والكواكب بدرجة عالية من الدقة.

وينظر إلى أي نظرية فيزيائية على أنها مشروطة ومؤقتة؛ بمعنى أنها محض فروض: لا يمكن إثبات صحتها. ومهما كان عدد مرات توافق النتائج التجريبية مع نظرية ما، فإنه لا يمكن التأكد من أن نتيجة ما ستجيء عكس هذه النظرية. ومن جهة أخرى من الممكن إثبات خطأ نظرية ما إذا وجدت ملاحظة واحدة – على الأقل – لا تتفق مع تنبؤات هذه النظرية. وكما أكد فيلسوف العلوم كارل بوبر Karl Popper فإن النظرية الجيدة هي التي تتميز بتقديم عدد من التنبؤات التي من الممكن من حيث المبدأ دحضها، أو إثبات عدم خطئها بالمشاهدة. وفي كل مرة تتفق فيها المشاهدات التجريبية مع التنبؤات تظل النظرية قائمة وتزداد ثقتنا بها؛ إلا أنه لو ظهرت مشاهدة واحدة جديدة لا تتفق مع النظرية فلابد من تعديلها أو التخلي عنها.

وهذا على الأقل ما ينبغي أن يحدث؛ ولكن لابد دائمًا من التأكد من كفاءة الشخص الذي يجري المشاهدة، وما يحدث عمليًا هو أن النظرية الجديدة في الواقع هي امتداد لنظرية سابقة؛ فمثلًا تبين من المشاهدات الدقيقة لكوكب عطارد أن هناك اختلافًا صغيرًا بين حركته وتنبؤات نظرية الجاذبية لنيوتن، وقد تنبأت النظرية النسبية العامة لأينشتاين بوجود اختلاف بسيط في الحركة عما تنبأت به نظرية نيوتن، وكان أحد أهم تأكيدات نظرية أينشتاين هو تطابق المشاهدة معها فيما لم يحدث ذلك مع نظرية نيوتن. ومع ذلك لا نزال نستخدم نظرية نيوتن في معظم الأغراض العملية؛ لأن الفارق بين تنبؤاتها وتنبؤات النظرية النسبية العامة ضئيل جدًا في ظروف تعاملنا العادي، وهناك ميزة كبيرة لنظرية نيوتن كونها أكثر بساطة في التعامل بها من نظرية أينشتاين!.

والهدف النهائي للعلم هو تقديم نظرية واحدة لوصف العالم كله، وعلى الرغم من ذلك فإن الطريق الذي يسلكه معظم العلماء هو تقسيم المشكلة إلى قسمين؛ يضم القسم الأول القوانين التي تنبئنا عن كيفية تغير العالم مع الزمن، فإذا عرفنا حالة العالم في أي لحظة؛ فإن هذه القوانين الفيزيائية تنبئنا بحالة هذا العالم في أي لحظة مقبلة، ويتضمن القسم الثاني سؤالًا عن حالة العالم في بدايته، ويعتقد بعض الناس أن على العلم أن يهتم بالقسم الأول فحسب، وهم يرون أن التساؤل عن حالة العالم في بدايته أمر يتعلق بالميتافيزيقا أو الدين، ويقولون بما أن الرب قادر على كل شيء فإنه قادر على خلق العالم بأي طريقة يشاء، قد يكون ذلك

صحيحًا، وربما يكون الرب قد اختار أن يطور هذا العالم بطريقة عشوائية تمامًا. لكن يبدو أن الرب قد اختار أن يجعل العالم يتطور بطريقة منتظمة تمامًا وفقًا لقوانين معينة، ولذلك فمن المنطقي بالقدر نفسه أن نقترح وجود قوانين تحكم حالة العالم في بدايته كذلك.

وقد اتضح أنه في غاية الصعوبة أن نتوصل إلى نظرية تصف العالم كله مرة واحدة، وبدلًا من ذلك فقد قسمنا المشكلة إلى قطع صغيرة، وابتكرنا عددًا من النظريات الجزئية. وتصف كل واحدة من هذه النظريات الجزئية، عددًا محدودًا من المشاهدات وتتنبأ بها، من دون أن تضع في الحسبان تأثير أي كميات أخرى، أو تمثيلها بفئات بسيطة من الأرقام بدلًا من ذلك. وقد يكون هذا المنهج خطأ تمامًا، فإذا كان كل شيء في العالم يعتمد على كل شيء آخر في الأساس، فربما يكون من المستحيل التوصل إلى حل شامل بدراسة أجزاء المشكلة كل على حدة. ومع ذلك فمن المؤكد أننا قد صنعنا تقدمنا في الماضي بهذه الطريقة. ونظرية الجاذبية لنيوتن هي المثال التقليدي على ذلك، وهي النظرية التي تنبئنا أن قوة الجاذبية بين جسمين تعتمد على رقم واحد فحسب يخص كل جسم منهما؛ وهو كتلته، ولا تعتمد على مكونات هذين الجسمين، وبذلك فلسنا في حاجة إلى نظرية لبنية الشمس والكواكب وتركيبها حتى نحسب مداراتها.

واليوم يصف العلماء العالم مستخدمين نظريتين أساسيتين؛ هما النظرية النسبية العامة، وميكانيكا الكم، وهما الإنجاز الذهني العظيم للنصف الأول من القرن العشرين فنظرية النسبية العامة تصف قوى الجاذبية والبنية الكلية للعالم، أي البنية على المستوى الذي يمتد من بضعة أميال وحتى ملايين ملايين ملايين ملايين الأميال (العدد ١ متبوعًا بأربعة وعشرين صفرًا)، وهو حجم العالم المنظور. أما ميكانيكا الكم فإنها تتعامل مع الظواهر على مستويات في غاية الضآلة مثل جزء من المليون من جزء من المليون من البوصة. ولسوء الحظ فإن هاتين النظريتين متعارضتان كما هو معروف؛ وعليه فإن إحداهما غير صحيحة، وأحد الجهود العظيمة في فيزياء هذه الأيام – وأهم ما في هذا الكتاب – هو البحث عن نظرية جديدة تربط النظريتين معًا في نظرية الكم للجاذبية. ولا نزال نفتقد مثل هذه النظرية، وربما ما يزال أمامنا وقت طويل للتوصل إليها؛ لكننا نعلم كثيرًا من الخواص التي يجب أن تتضمنها. وسنرى في الفصول القادمة أننا نعلم بالفعل كمية لا بأس بها من التنبؤات التي يجب أن تقدمها نظرية الكم للجاذبية.



من الذرات إلى المجرات
وسع الفيزيائيون مجال نظرياتهم – في النصف الأول من القرن العشرين –
من عالم نيوتن العادي ليشمل كلًا من أصغر الحدود للعالم وأكبره

واليوم إذا اعتقدنا أن العالم ليس اعتباطيًا، بل هو محكوم بقوانين محددة؛ فلابد من ضم النظريات الجزئية في نظرية موحدة تمامًا، تصف كل شيء في العالم. لكن هناك أمرًا محيرًا تمامًا يصادفنا في أثناء البحث عن هذه النظرية الموحدة، إذ تفترض الأفكار التي تدور حول النظريات العلمية المذكورة آنفًا أننا مخلوقات منطقية، وأننا أحرار في رؤية العالم كما نحب، ونستطيع أن نضع حدودًا لما لا نرغب في رؤيته، وبمثل هذا المنهج فمن المنطقي أن نفترض أننا سنحرز تقدمًا أكثر نحو القوانين التي تحكم العالم، ومع ذلك إذا كان هناك بالفعل نظرية موحدة شاملة؛ فإنها لابد أن تحدد مخرجات بحثنا عن هذه النظرية! لأنها لابد أن تحدد أفعالنا، وكيفية توصلنا إلى النتائج الصحيحة من الأدلة، وبالقدر نفسه قد نتوصل بفضلها إلى نهايات غير صحيحة، أو لا نتوصل إلى شيء على الإطلاق.

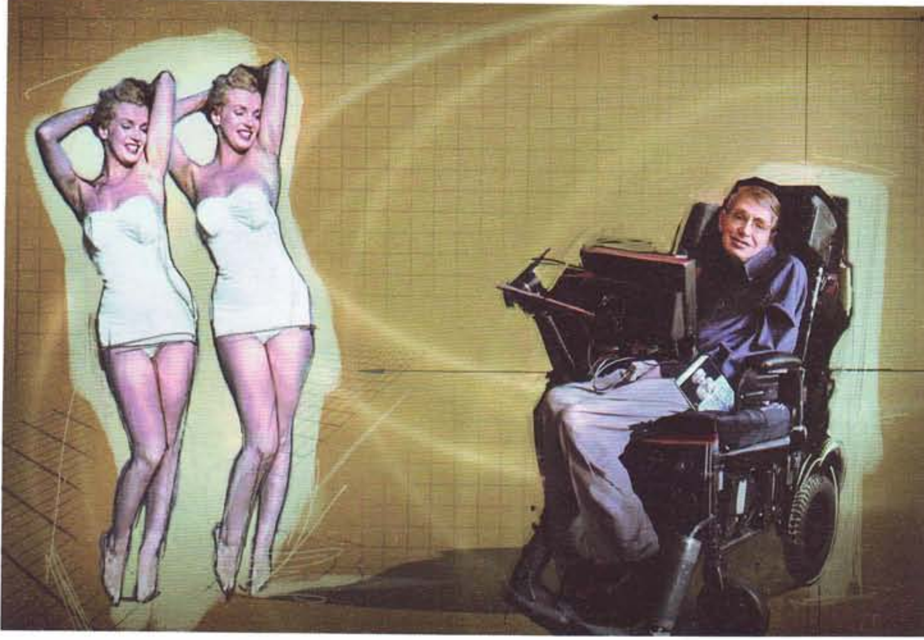
والحل الوحيد الذي يمكن أن نقدمه لهذه المشكلة قائم على مبدأ داروين في الانتخاب الطبيعي؛ وذلك أننا نجد في كل مجتمع لكائنات ذاتية التكاثر اختلافات في المادة الجينية (الوراثية)، وفي النواتج التي لدى الأفراد المختلفين، وتعني هذه الاختلافات أن بعض هؤلاء الأفراد سيكونون أكثر قدرة من الآخرين على التوصل إلى النتائج الصحيحة عن العالم من حولهم، وأنهم سيتصرفون تبعًا لذلك، وسيكون هؤلاء الأفراد أكثر مقدرة على البقاء والتكاثر، وبذلك فإن أنماط سلوكهم وأفكارهم ستسود. ومن المؤكد أن ندعي أن الاكتشافات الذهنية والعلمية في الماضي قد قدمت ميزات للبقاء، وليس واضحًا أن الحالة لا تزال كذلك؛ فاكتشافاتنا العلمية قد تدمرنا جميعًا، وإذا لم يحدث ذلك فإن النظرية الموحدة الشاملة قد لا تحدث اختلافًا كبيرًا في فرصتنا للبقاء. ومع ذلك – بعد ملاحظة أن العالم يتطور بطريقة منتظمة – فإننا قد نتوقع أن المقدرات المتميزة التي ظهرت نتيجة للانتخاب الطبيعي قد تكون صالحة كذلك في بحثنا عن النظرية الموحدة الشاملة، وهكذا قد لا تؤدي بنا إلى نتائج غير صحيحة.

ولأن النظريات الجزئية التي توصلنا إليها سابقًا كافية للتوصل إلى تنبؤات دقيقة في كل الأحوال ما عدا الحالات المتطرفة، فإن البحث عن النظرية النهائية الموحدة للعالم يبدو من الصعب تبريره على أساس علمي. ومن الجدير بالذكر أن جدلًا من هذا النوع يمكن أن يستخدم ضد كل من النسبية وميكانيكا الكم؛ مع أنهما قدما لنا الطاقة النووية وثورة الإلكترونيات الدقيقة. وربما لن يُساعد اكتشاف النظرية الموحدة الشاملة نوعنا على البقاء؛ بل قد لا يؤثر ذلك في نمط حياتنا. ولكن منذ فجر الحضارة لم يكن البشر مقتنعين بأن يروا الأحداث غير مترابطة وغير مفهومة، لقد كنا شغوفين لفهم النظام الذي يسير عليه العالم. ولا نزال حتى اليوم نتطلع إلى معرفة السبب في وجودنا، ومن أين أتينا. والرغبة الإنسانية العميقة للمعرفة سبب كاف للتساؤلات المستمرة، ولا يقل هدفنا عن الوصف التام للعالم الذي نعيش فيه.

• ٤ •
عالم نيوتن

ترجع أفكارنا الحالية عن حركة الأجسام إلى جاليليو ونيوتن، فقد كان الناس من قبلهم يصدقون أرسطو الذي قال: إن الحالة الطبيعية للأجسام هي السكون، ولا تتحرك إلا تحت تأثير قوة أو دفعة، وتبعًا لذلك فإن الجسم الأثقل سيسقط بسرعة أكبر من الجسم الأخف؛ لأن الأول ستمارس عليه قوة جذب أكبر تجاه الأرض. ومن التقاليد الأرسطية كذلك أن الإنسان يستطيع التوصل إلى جميع القوانين التي تحكم العالم بالفكر المطلق فحسب؛ وليس من الضروري إثبات ذلك عمليًا بالمشاهدة. وهكذا لم يهتم أحد قبل جاليليو بمراقبة ما إذا كانت الأجسام ذات الأوزان المختلفة تسقط بسرعات مختلفة، ويقال إن جاليليو قد أثبت خطأ نظرية أرسطو؛ وذلك بإسقاط أجسام ذات أوزان مختلفة من برج بيزا المائل بإيطاليا، وهي قصة على الأغلب غير حقيقية، ولكن جاليليو فعلَ عملًا شبيهًا بذلك: فقد وضع بعض الكرات مختلفة الأوزان على سطح أملس مائل، والوضع هنا مماثل للسقوط الرأسي للأجسام مختلفة الأوزان؛ لكن من الأسهل متابعة انحدار الكرات على السطح المائل إذ إن السرعة هنا أبطأ. وقد بينت قياسات جاليليو أن كل جسم يزيد من سرعته بالمعدل نفسه بصرف النظر عن وزنه؛ فمثلًا إذا تركت كرة تتدحرج على سطح مائل بسرعة تزيد مترًا كل عشرة أمتار، فإن الكرة ستقطع مسافة السطح المائل بسرعة متر واحد في الثانية في أثناء الثانية الأولى ومترين في الثانية بعد ثانيتين، وهكذا بصرف النظر عن وزن الكرة. ومن الطبيعي أن تنحدر كرة من

الرصاص بسرعة أكبر من الريش؛ وذلك لأن الريش يعاني مقاومة الهواء لحركته (تباطؤ)، فإذا أسقطنا جسمين لا يتأثران بمقاومة الهواء – مثل كرتين مختلفتي الوزن من الرصاص – فإنهما ستسقطان بالمعدل نفسه، وسنرى السبب لاحقًا. وعلى القمر حيث لا هواء ليبطئ من معدل سقوط الأشياء؛ أجرى رائد الفضاء ديفيد سكوت David Scott تجربة الريش والرصاص، فوجد أن كليهما يصل إلى الأرض في اللحظة نفسها.



قوة الجاذبية للأجسام المركبة
إذا تضاعفت كتلة الجسم تتضاعف قوة الجاذبية التي يمارسها

وقد استخدم نيوتن قياسات جاليليو أساسًا لقوانينه عن الحركة، وفي تجارب جاليليو كان الجسم ينحدر تحت تأثير القوة نفسها على السطح المائل (تأثير وزنه)، وكانت نتيجة ذلك تسارع الجسم باستمرار. وقد أثبت ذلك أن التأثير الحقيقي للقوى هو دائمًا تغيير سرعة الجسم، وليس دفعه إلى الحركة فحسب؛ كما كان يعتقد الناس في السابق. ويعني ذلك أنه عندما لا تؤثر أي قوة في الجسم فإنه سيحتفظ بحركته في خط مستقيم وبالسرعة

نفسها. وقد وردت هذه الفكرة أول مرة بوضوح تام سنة ١٦٨٧ في كتاب نيوتن الأشهر «المبادئ الرياضية» (Principia Mathematica)، وهو ما أصبح يعرف بالقانون الأول لنيوتن. أما ما يحدث للجسم عندما تؤثر فيه قوة ما فيفسره القانون الثاني لنيوتن، وينص هذا القانون على أن الجسم يغير من سرعته (يتسارع) بمعدل يتناسب مع القوة التي تؤثر فيه، فمثلًا يتضاعف التسارع كلما تضاعفت القوة المؤثرة، وكذلك يقل التسارع كلما قلت كتلة الجسم (كمية المادة في الجسم)، وتقدم لنا السيارة مثالًا مألوفًا: فكلما زادت قوة المحرك زاد التسارع؛ لكن لو كانت السيارة أثقل فسيقل التسارع إذا استخدمنا المحرك نفسه.

وإلى جانب قوانين نيوتن عن الحركة التي تصف كيفية تفاعل الأجسام مع القوة التي تؤثر فيها؛ فإن نظرية نيوتن للجاذبية توضح كيفية تعيين نوع معين من القوى، وهي قوى الجاذبية. وتنص هذه النظرية - كما ذكرنا سابقًا - على أن لكل جسم يتجاذب مع جسم آخر قوة تتناسب مع كتلة كل جسم منهما، وبذلك تتضاعف قوة التجاذب بين جسمين إذا تضاعفت كتلة أحدهما وليكن الجسم (أ)، وهو ما يمكن توقعه لو فكرنا أن الجسم الجديد (أ) مكون من جسمين لكل منهما الكتلة الأصلية قبل مضاعفتها، وسيتجاذب كل من هذين الجسمين مع الجسم (ب) بالقوة الأصلية نفسها، وهكذا تصبح قوة التجاذب الكلية بين (أ) و(ب) ضعف القوة الأصلية، وإذا تضاعفت كتلة الجسم الآخر مرتين فإن قوة التجاذب الكلية بينهما ستتضاعف ست مرات.

وهكذا يمكننا أن ندرك لماذا تسقط جميع الأجسام بالمعدل نفسه، فوفقًا لقانون نيوتن عن الجاذبية فإن جسمًا له ضعف كتلة جسم آخر سيجعل قوة الجاذبية تتضاعف، وبما أن كتلة الجسم قد تضاعفت فإن قانون نيوتن الثاني يؤدي إلى اختزال التسارع إلى النصف بالنسبة لكل وحدة من القوى. وتبعًا لقوانين نيوتن فإن هذين التأثيرين سيلاشي كل منهما الآخر تمامًا؛ مما يعني أن التسارع سيظل هو نفسه من دون النظر إلى تغير الوزن. وينبئنا قانون الجاذبية لنيوتن؛ أنه كلما تباعدت الأجسام تقل قوى التجاذب بينها، وينص القانون على أن قوة تجاذب أحد النجوم تساوي ربع قوة تجاذب قوة نجم آخر على بعد مساو لنصف مسافة النجم الأول، ويتنبأ هذا القانون بمدارات الأرض والقمر والكواكب بدقة عظيمة. ولو كان هذا القانون ينص على أن قوة جاذبية النجم تنخفض أسرع أو أبطأ مما هي عليه بالنسبة

للمسافة؛ لما كانت مدارات الكواكب بيضاوية، بل لهوت الكواكب في مسار حلزوني نحو الشمس أو أفلتت منها إلى الفضاء.

ويكمن الاختلاف الكبير بين أفكار أرسطو وأفكار جاليليو ونيوتن في اعتقاد أرسطو أن حالة السكون لأي جسم هي الحالة المفضلة إذا لم تدفعه قوة ما، وبالتحديد لأنه كان يعتقد أن الأرض في حالة سكون. لكن تبعًا لقوانين نيوتن فإنه ليس هناك معيارا فريدا للسكون، ويمكن القول إن جسمًا ما (أ) في حالة سكون، بينما الجسم (ب) هو الذي يتحرك بسرعة ثابتة، أو العكس: الجسم الساكن هو (ب) بينما يتحرك الجسم (أ) بسرعة ثابتة، فمثلاً إذا نحينا جانبًا دوران الأرض ومدارها حول الشمس؛ فمن الممكن القول إن الأرض في حالة سكون، وأن قطارًا يتجه شمالاً بسرعة ٩٠ ميلاً في الساعة، أو يمكن القول إن القطار ساكن والأرض هي التي تتحرك جنوبًا بسرعة ٩٠ ميلاً في الساعة. وإذا أجرينا تجاربنا على أجسام تتحرك على متن القطار فإن قوانين نيوتن تظل سارية، فمن هو الذي على صواب نيوتن أم أرسطو؟ وكيف نتوصل إلى ذلك؟ولنتصور الاختبار الآتي: تخيل نفسك محبوسًا في صندوق، ولا تعلم ما إذا كان هذا الصندوق مستقرًا على متن قطار متحرك، أو على الأرض الثابتة، ووضع الصندوق على الأرض الثابتة هو حالة السكون القياسية عند أرسطو؛ فهل هناك طريقة لتحديد وضع الصندوق؟ إذا أمكننا ذلك فسيكون أرسطو على صواب، وأن حالة السكون على الأرض هي حالة خاصة. فإذا أجرينا تجاربنا داخل الصندوق وهو على متن القطار؛ فإنها ستؤدي إلى النتائج نفسها كما لو كان الصندوق على رصيف القطار (الساكن) (إذا افترضنا غياب أي عوائق أو استدارات في حركة القطار). وستجد أن لعب تنس الطاولة على القطار له السلوك نفسه للعب تنس الطاولة في ملعب ساكن، وإذا كنت داخل الصندوق وتؤدي اللعبة نفسها في قطار يسير بسرعات مختلفة بالنسبة للأرض، وكل سرعة ثابتة مثلا صفر و ٥٠ و ٩٠ ميلاً في الساعة؛ فإن حركة الكرة لن تتغير، وستظل كما هي في كل الأحوال، وهذا هو سلوك العالم الذي تعكسه قوانين نيوتن: ليس هناك طريقة يمكن أن تعرف بها ما إذا كان القطار هو الذي يتحرك أم الأرض. ولا يصبح مفهوم الحركة واضحًا إلا مقارنة بأجسام أخرى.

فهل يهم حقيقة ما إذا كان أرسطو أم نيوتن هو الذي على صواب؟ وهل الفرق بينهما اختلاف في الشكل أم في الفلسفة؟ أم هو موضوع مهم للعلوم؟ في الواقع هناك تطبيقات قوية تؤكد أنه ليس هناك حالة سكون قياسية مطلقة في الفيزياء؛ ويعني ذلك أننا لا نستطيع تحديد ما إذا كان حدثان قد وقعا في زمانين مختلفين في المكان نفسه في الفضاء.



نسبية المسافة
المسافة والمسار الذي يقطعهما جسم ما يمكن أن يظهر مختلفًا إذا اختلف المشاهد

ولنتصور ما يلي: نفترض أن شخصًا ما على متن قطار، يقذف بكرة تنس الطاولة إلى أعلى عموديًا على الطاولة، بحيث تسقط في النقطة نفسها كل ثانية، بالنسبة لهذا الشخص لا يتغير موقع الصدمة الثانية عن الأولى، ولا يفصل بين الموقعين أي مسافة، أما بالنسبة لشخص يقف خارج القطار فإن الصدمتين سيفصل بينهما أربعون مترًا تقريبًا، إذ سيكون القطار قد قطع هذه المسافة في الفترة بين الصدمتين. ووفقًا لنيوتن فإن كلًا من المشاهدين لهما الحق

نفسه في أن يعد أنفسيهما في حالة سكون؛ ولذا فإن وجهتي نظرهما مقبولتان، ولا تفضل أحدهما الأخرى كما كان يعتقد أرسطو، وسيختلف موقع الأحداث والمسافة بينها بالنسبة لشخص على القطار وآخر على الرصيف، ولا يجب أن يكون هناك سبب لتفضيل أحدهما على الآخر.

كان نيوتن منزعجًا جدًا لغيبة الموقع المطلق أو الفضاء المطلق، كما كان يسمى من قبل؛ لأن ذلك لم يكن يتفق مع فكرته عن وجود رب مطلق، وفي الحقيقة رفض نيوتن تقبل غياب الفضاء المطلق، حتى وإن كانت قوانينه تتضمن ذلك. وقد تعرض نيوتن لنقد شديد من كثير من الناس نتيجة لهذا الاعتقاد اللامنطقي، وكان أكثرهم نقدًا له الأب بيركلي الفيلسوف، الذي كان يعتقد أن كل الأجسام المادية والمكان والزمان هي محض خداع. وعندما سمع الدكتور چونسون الشهير برأي بيركلي صاح «إنني أرفضه مثل هذا»، وضرب بقدمه صخرة كبيرة.

كان كل من أرسطو ونيوتن يعتقدان بالزمن المطلق، ويعني ذلك أنهما كانا يعتقدان أن أي شخص يمكن أن يعين الفترة الزمنية بين حدثين من دون أي مشاكل، وستكون هذه الفترة هي نفسها بصرف النظر عن الشخص الذي يرصدها، بشرط أن يستخدم الشخص ساعة دقيقة. وعلى عكس الفضاء المطلق فإن الزمن المطلق كان يتسق مع قوانين نيوتن، وهو ما يراه معظم الناس فكرة مقبولة. إلا أنه خلال القرن العشرين أيقن الفيزيائيون أن عليهم أن يغيروا من أفكارهم حول الزمان والمكان، وكما سنرى فقد اكتشفوا أن طول الزمن بين حادثين مثل المسافة بين النقطتين التي ترتد بينهما كرة تنس الطاولة - أمر يتوقف على المشاهد، وقد اكتشفوا كذلك أن الزمن ليس منفصلا، ولا مستقلا تماما عن المكان، وكان مفتاح هذه العلاقة هو النظرة الجديدة لخواص الضوء. وقد تبدو هذه الأفكار على النقيض من خبرتنا؛ وعلى الرغم من أن قبولنا الظاهري المبني على خبرتنا يتسق تماما مع حركة أشياء مثل التفاح، أو الكواكب التي تتحرك بسرعة بطيئة نسبيا؛ إلا أنها لا تتسق مطلقا مع الأشياء التي تتحرك بسرعة قريبة من سرعة الضوء أو مساوية لها.

• ٥ •

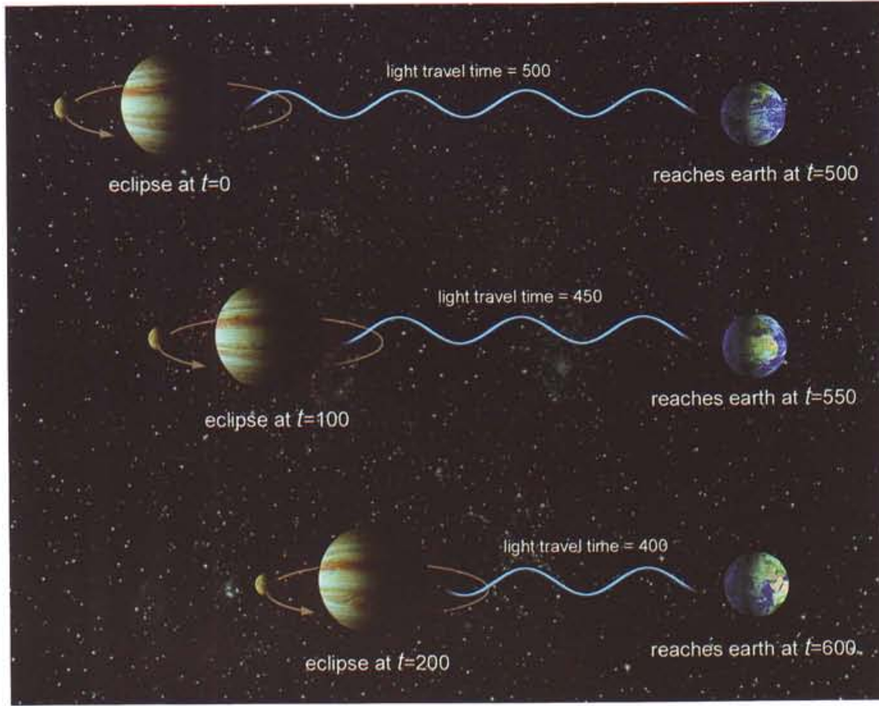
النسبيـة

كان الفلكي الدانماركي أولي كريستنسين رومر (Ole Christensen Roemer) أول من اكتشف حقيقة أن للضوء سرعة محددة وذلك في سنة ١٦٧٦، وإن كانت سريعة جدًا، فلو راقبت أقمار كوكب المشترى ستلاحظ أنها تحتجب عن الرؤية من فترة لأخرى؛ لأنها تمر خلف الكوكب العملاق، ولابد أن تحدث مثل هذه الخسوفات على فترات منتظمة؛ لكن رومر لاحظ أنها ليست كذلك، ولا تحدث على فترات منتظمة. فهل تسرع وتبطئ الأقمار من سرعتها بشكل ما في مداراتها؟ غير أنه كان لديه تفسير آخر. فإذا كان الضوء ينتقل بسرعة لا نهائية فإننا سنرى – على الأرض – هذه الخسوفات على فترات منتظمة، وفي الوقت نفسه الذي تقع فيه مثل دقات ساعة كونية، وبما أن الضوء في هذه الحالة سيقطع أي مسافة لحظيًا؛ فإن الحال لن يتغير إذا ما كان المشترى يتحرك تجاه الأرض أو مبتعدًا عنها.

ولنتخيل الآن أن الضوء ينتقل بسرعة محددة، فإذا كان الأمر كذلك فإننا سنرى كل خسوف بعد حدوثه بفترة ما، ويعتمد هذا التباطؤ على سرعة الضوء والمسافة بين المشتري والأرض، فإذا لم يغير المشتري بعده عن الأرض فإن هذا التباطؤ سيكون ثابتًا لكل خسوف؛ إلا أن المشترى يتحرك أحيانًا مقتربًا من الأرض، وفي هذه الحالات ستقطع «الإشارات» المتتالية للخسوفات مسافات أقصر وأقصر، ولذا فإنها ستصل في وقت مبكر مما لو ظل المشتري ثابتًا

في مكانه، وللسبب نفسه إذا كان المشتري يتحرك مبتعدًا عن الأرض؛ فإننا سنرى الخسوفات المتتالية في أوقات أبطأ، وأبطأ. وتعتمد درجة التبكير والبطء في وصول هذه الإشارات على سرعة الضوء، مما يسمح لنا بقياس هذه السرعة، وهذا ما فعله رومر، فقد لاحظ أن خسوفات أحد أقمار المشتري تظهر في أوقات مبكرة من السنة عندما تقترب الأرض من مدار المشتري، وتظهر أكثر بطئًا في الأوقات التي تتباعد فيها الأرض عن المشتري، وقد استخدم رومر هذا الفارق لحساب سرعة الضوء، إلا أن قياساته للتفاوت بين الأرض والمشتري لم تكن دقيقة جدًا، ولذا فإن قيمة سرعة الضوء التي سجلها كانت ١٤٠٠٠٠ ميلًا في الثانية، في حين أن سرعة الضوء الحديثة تصل إلى ١٨٦٠٠٠ ميلًا في الثانية. ومع ذلك فلم يكن إنجاز رومر فقط في إثبات أن للضوء سرعة محددة؛ بل لأنه تمكن من قياس هذه السرعة، والأمر الذي يستحق الإشادة أن عملية رومر لقياس سرعة الضوء قد جاءت قبل أن ينشر نيوتن كتابه «المبادئ الرياضية» بأحد عشر عامًا.

ولم تظهر النظرية المناسبة لانتشار الضوء إلا في سنة ١٨٦٥، عندما نجح الفيزيائي البريطاني چيمس كلارك ماكسويل (James Clerk Maxwell) في توحيد النظريتين الجزئيتين، واللتين ظلتا تستخدمان حتى ذلك الحين لوصف القوى الكهربية والقوى المغناطيسية. وعلى الرغم من معرفتنا بكل من الكهرباء والمغناطيسية منذ أزمنة بعيدة؛ فإننا لم نتوصل إلى قوانين كمية تصف القوة الكهربية بين جسمين مشحونين، إلا في القرن الثامن عشر على يد الكيميائي البريطاني هنري كافندش (Henry Cavendish)، والفيزيائي الفرنسي تشارلز أوچستين دي كولوم (Chrles–Augstin de Coulomb). وبعد بضعة عقود – وفي بداية القرن التاسع عشر – توصل عدد من الفيزيائيين لقوانين مشابهة تنطبق على القوى المغناطيسية، وقد بين ماكسويل رياضيًا أن كلًا من القوى الكهربية والقوى المغناطيسية لا تنشأ من جسيمات تؤثر في بعضها بعضًا؛ بل إن كل شحنة كهربية أو تيار كهربي يشكل مجالًا في الوسط المحيط به، الأمر الذي ينتج عنه قوة تؤثر في كل شحنة أو تيار آخر يقع في هذا المجال. كما اكتشف أن هناك مجالًا واحدًا يحمل كلًا من القوى الكهربية والقوى المغناطيسية، وعليه فإن الكهربية والمغناطيسية سمات لقوى غير قابلة للانفصام، وقد أطلق على هذه القوة اسم الكهرومغناطيسية، والمجال الذي يحملها المجال الكهرومغناطيسي.



سرعة الضوء وزمن ونوع الخسوفات
تعتمد أوقات ظهور خسوفات أقمار المشترى على كل من الزمن الفعلي
لوقوع الخسوف، والزمن الذي يستغرقه الضوء ليقطع المسافة بين المشترى والأرض. وهكذا تظهر الخسوفات
بتواتر أكثر عندما يتحرك المشترى مقتربًا
من الأرض، وتظهر بتواتر أقل (أبطأ) عندما يتحرك المشترى مبتعدًا عن الأرض،
وقد أوردنا هذا التأثير بصورة مبالغ فيها للتوضيح

وقد تنبأت معادلات ماكسويل بإمكانية وجود اضطرابات على شكل موجات في المجال الكهرومغناطيسي، وأن هذه الموجات تنتشر بسرعة ثابتة، مثل التموجات على سطح بركة. وعندما حسب ماكسويل هذه السرعة وجد أنها تتطابق تمامًا مع سرعة الضوء! ونحن نعرف اليوم أن موجات ماكسويل تراها أعيننا البشرية على شكل ضوء إذا كانت أطوالها ما بين ٤٠ و٨٠ جزءًا من المليون من السنتيمتر. (الموجة تتابع من القمم والقيعان، وطول الموجة هو المسافة بين القمم أو القيعان المتتالية). وتعرف الموجات القصيرة من الضوء المرئي باسم

الضوء فوق البنفسجي، وأشعة X ـ الأشعة السينية، وأشعة جاما. أما الموجات الطويلة من الضوء المرئي فتعرف بموجات الراديو (متر أو أكثر)، والموجات الميكروويية (نحو سنتيمتر)، والأشعة تحت الحمراء (أقل من جزء من عشرة آلاف جزء من السنتيمتر، لكنها أطول من الضوء المرئي).



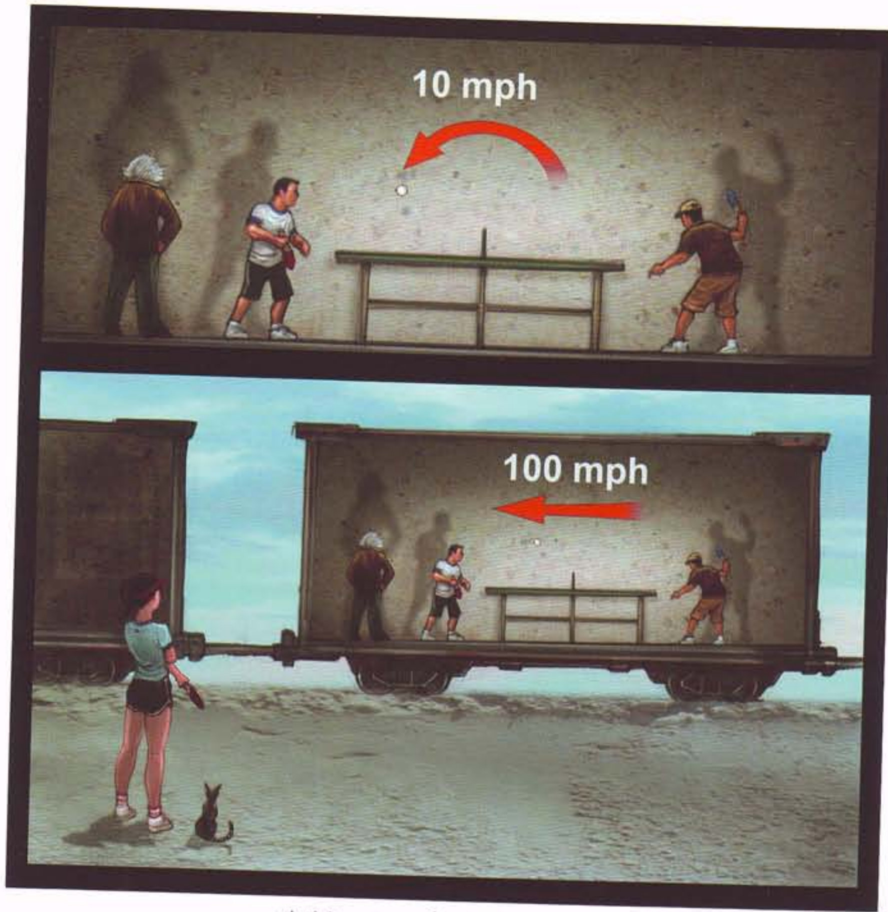
طول الموجة
طول الموجة هو المسافة بين قمتين أو قاعين متتالين

وتنص نظرية ماكسويل على أن موجات الراديو أو موجات الضوء تنتقل بسرعة معينة ثابتة. ومن الصعب أن يتفق هذا المفهوم مع نظرية نيوتن التي تنص على عدم وجود حالة قياسية مطلقة للسكون؛ لأنه إذا لم يكن هناك مثل هذه الحالة القياسية فلن يكون هناك اتفاق عالمي على سرعة أي جسم. وحتى ندرك السبب، علينا أن نتخيل مرة أخرى لعبة تنس الطاولة

في القطار، فإذا ضربت الكرة في اتجاه مقدمة القطار بسرعة إذا قاسها اللاعب الآخر وجدها عشرة أميال في الساعة، أما المشاهد من على الرصيف فإنه سيرى أن سرعة الكرة مائة ميل في الساعة، عشرة أميال في الساعة بالنسبة للقطار بالإضافة إلى تسعين ميلاً في الساعة التي هي سرعة القطار بالنسبة للرصيف. فما هي إذن سرعة الكرة؟ وهل هي عشرة أميال أم مائة ميل في الساعة؟ وكيف يمكن تحديدها، وهل بالنسبة للقطار أم بالنسبة للأرض؟ وفي عدم وجود حالة سكون قياسية مطلقة فإنك لن تستطيع تحديد السرعة المطلقة للكرة، ومن الممكن أن يكون للكرة أي قيمة لسرعتها، اعتمادًا على الإطار المرجعي الذي تقاس بالنسبة إليه هذه السرعة. وتبعًا لنظرية نيوتن لابد أن ينطبق الشيء نفسه على الضوء. وبذلك فما الذي يعنيه أن موجات الضوء تنتشر بسرعة معينة ومحددة في نظرية ماكسويل؟

وحتى تتفق نظرية ماكسويل مع قوانين نيوتن فقد اقترح وجود مادة أطلق عليها «الأثير»، وافترض وجودها في كل مكان حتى في الفضاء «الفارغ»، وقد جذبت فكرة وجود الأثير العلماء الذين شعروا أنه تمامًا مثل ما تتطلب موجات الماء وجود الماء، وموجات الصوت وجود الهواء، فإن موجات الطاقة الكهرومغناطيسية لابد أن تتطلب وجود وسط يحملها. ومن هذا المنطلق فإن موجات الضوء تنتشر في الأثير مثل موجات الصوت في الهواء، وأن «سرعتها» كما حسبت من معادلات ماكسويل يجب أن تقاس بالنسبة للأثير، وقد يرى المشاهدون المختلفون الضوء القادم نحوهم بسرعات مختلفة؛ لكن سرعة الضوء بالنسبة للأثير تظل ثابتة.

ومن الممكن اختبار هذه الفكرة، ولنتخيل الضوء يصدر من مصدر ما، ووفقًا لنظرية الأثير فإن الضوء ينتشر خلال الأثير بسرعة الضوء، وإذا تحركت تجاه هذا المصدر خلال الأثير فإن السرعة التي تقترب بها من مصدر الضوء ستساوي حاصل جمع سرعة الضوء وسرعتك في الأثير، وسيقترب الضوء منك أسرع مما لو كنت ساكنًا، أو كنت تتحرك مبتعدًا في الاتجاه المخالف، لكن نظرًا إلى أن سرعة الضوء أكبر بكثير من السرعة التي تتحرك بها نحو مصدر الضوء، فإن قياس الفرق في السرعة سيكون غاية في الصعوبة.



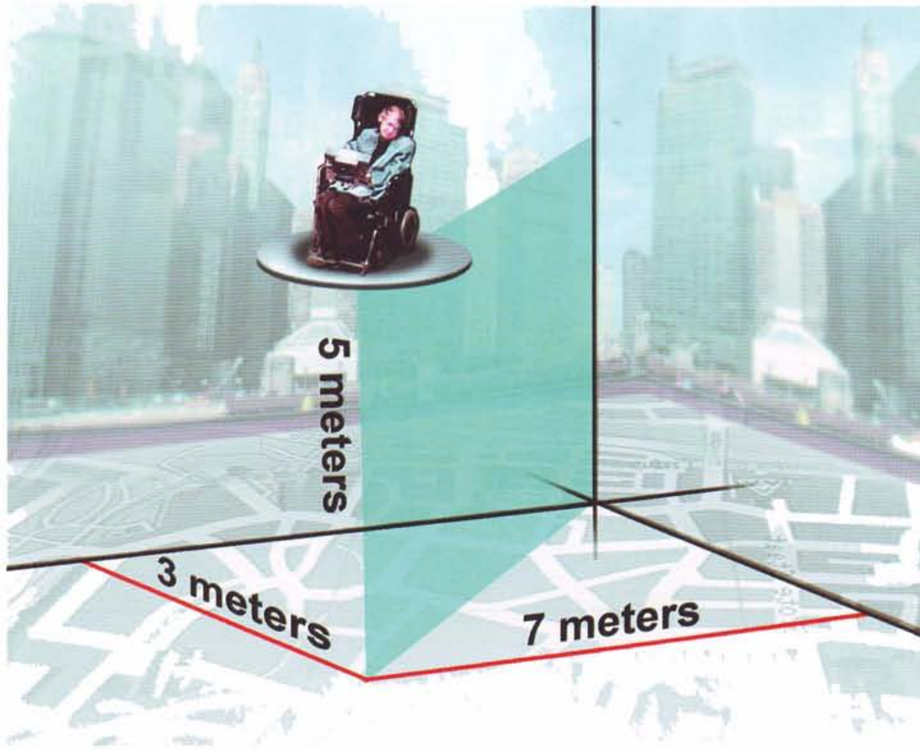
السرعات المختلفة لكرات تنس الطاولة
وفقًا للنظرية النسبية فإن قياسات كل مشاهد – على الرغم من اختلافها –
صحيحة بالدرجة نفسها

في سنة ١٨٨٧ أجرى كل من ألبرت مايكلسون (Albert Michelson)- أول أمريكي يحصل على جائزة نوبل في الفيزياء فيما بعد- وإدوارد مورلي (Edward Morley) تجربة صعبة ودقيقة جدًا في مدرسة العلوم التطبيقية Case of Appplied Science (والتي تعرف الآن باسم Case Western Reserre University) في كليفلاند، فقد فكرا أنه بما أن الأرض تدور حول الشمس بسرعة عشرين ميلًا في الثانية تقريبًا، فإن معملهم نفسه

... يتحرك خلال الأثير بسرعة عالية نسبيًا، ومن الطبيعي ألا يعلم أحد في أي اتجاه يسير ... وما هي سرعته بالنسبة للشمس، أو حتى ما إذا كان يتحرك في الأصل. ولكن بإعادة ... تجربتهما في أوقات مختلفة من السنة عندما تكون الأرض في مواقع مختلفة في فلكها، ... يأملان في التوصل إلى العامل المجهول. ولذلك أجرى مايكلسون ومورلي تجربة لمقارنة سرعة الضوء المقاسة في اتجاه حركة الأرض خلال الأثير (عندما تتحرك في اتجاه مصدر الضوء)، مع سرعة الضوء المقاسة عموديًا على اتجاه حركة الأرض (عندما لا تكون حركتها في اتجاه مصدر الضوء). وقد فوجئنا بأن سرعة الضوء في الاتجاهين واحدة بالضبط!

وقد جرت محاولات عديدة لإنقاذ نظرية الأثير بين عامي ١٨٨٧ و١٩٠٥، ومن أكثر ... المحاولات جدية تلك التي قام بها الفيزيائي الهولندي هندريك لورنس (Hendrik Lorentz)، إذ حاول تفسير نتائج تجربة مايكلسون ومورلي بمعلومية انكماش الأجسام والساعات التي تتباطأ عند حركتها خلال الأثير. إلا أنه في سنة ١٩٠٥ ظهر بحث لموظف غير معروف في ذلك الوقت، يعمل في مكتب تسجيل الاختراعات بسويسرا، واسمه آلبرت أينشتاين (Albert Einstein)؛ الذي أشار إلى أن فكرة وجود الأثير غير ضرورية أبدًا، مع الأخذ بالحسبان الاستغناء عن فكرة الزمن المطلق (سنرى سبب ذلك لاحقا). وقد توصل عالم الرياضيات الفرنسي الكبير هنري بوانكريه Henri Poincaré إلى الفكرة نفسها بعد بضعة أسابيع فقط، وكانت حجج أينشتاين أقرب إلى الفيزياء من حجج بوانكريه، الذي كان يعد هذه المشكلة رياضية بحتة، وظل حتى وفاته لا يتقبل تفنيدات أينشتاين للنظرية.

كان الافتراض الأساسي في النظرية النسبية لأينشتاين – كما أطلق عليها – ينص على أن القوانين العلمية لابد أن تكون واحدة لكل مشاهد يتحرك بحرية، بصرف النظر عن سرعته. كان ذلك صحيحًا لقوانين نيوتن عن الحركة، لكن أينشتاين وسّع الفكرة لتتضمن نظرية ماكسويل، وبعبارة أخرى – وحيث إن نظرية ماكسويل تنص على أن لسرعة الضوء قيمة معينة – فإن كل المشاهدين الذين يتحركون بحرية لابد أن يقيسوا القيمة نفسها من دون النظر إلى حركتهم؛ هل هي في اتجاه مصدر الضوء أم تبتعد عنه. وقد وضّحت بكل تأكيد هذه الفكرة البسيطة - من دون استخدام الأثير، أو أي إطار مرجعي مفضل آخر - معنى سرعة الضوء في معادلات ماكسويل؛ إلا أن لها بعض التداعيات الصارخة التي لا تقبلها غريزتنا.



المحاور في المكان
عندما نقول إن للمكان ثلاثة أبعاد، فإننا نعني أن الأمر يحتاج إلى ثلاثة أرقام، أو ثلاثة محاور لتحديد نقطة ما، فإذا أضفنا الزمن إلى تعريفنا للنقطة، فسيصبح المكان عندئذ الزمكان وله أربعة أبعاد

فمثلًا تجبرنا المتطلبات التي يجب أن يتفق عليها كل المشاهدين عن سرعة انتشار الضوء أن نغير مفهومنا عن الزمن، ولنتصور القطار السريع مرة ثانية، وقد رأينا في الفصل الرابع أنه على الرغم من أن شخصًا ما يضرب كرة تنس الطاولة، لترتد إلى أعلى ثم إلى أسفل عدة مرات، يقول إن الكرة لم تنتقل سوى بضع بوصات، إلا أن شخصًا آخر على الرصيف سيرى أن الكرة قد تحركت نحو أربعين مترًا. وبالمثل لو أشعل الشخص الذي على متن القطار ومضة من الضوء فإن المشاهدَين - من على القطار، ومن على الرصيف لن يتفقا على المسافة التي قطعها الضوء. وحيث إن السرعة هي المسافة مقسومة على الزمن، فإذا لم يتفقا على المسافة التي قطعها الضوء؛ فإن الحل الوحيد حتى يتفقا على سرعة واحدة للضوء هو ألاَّ

يتفق على الزمن نفسه الذي قطعه الضوء. وبعبارة أخرى فإن النظرية النسبية تتطلب منا أن نضع نهاية لفكرة الزمن المطلق! وبدلًا من ذلك فإن لكل مشاهد مقياسه الخاص للزمن، كما تسجله الساعة التي في حوزته، وليس من الضروري أن تبين الساعات المماثلة الموجودة في حوزة مشاهدين آخرين الزمن نفسه.

وليس هناك حاجة لإقحام فكرة الأثير في النسبية، والذي لم تستطع إثبات وجوده تجربة ميكلسون ومورلي. وبدلًا من ذلك فإن النظرية النسبية تجبرنا على أن نغير أفكارنا عن الزمان والمكان من أساسهما، وعلينا أن نتقبل أن الزمن ليس منفصمًا تمامًا عن المكان، وليس مستقلًا عنه. ولكنه متحد مع المكان ليكوّنا معًا ما يسمى بالزمكان (Space–Time). ولا يمكن تقبل هذه الفكرة بسهولة؛ فقد استغرقت النسبية سنوات لتصبح مقبولة عالميًا حتى في مجتمع الفيزيائيين، كان ذلك بمنزلة الدليل الملموس الذي ابتكره أينشتاين بخياله، ودعمته ثقته في المنطق الذي أدى إلى تداعياته على الرغم من غرابة الاستنتاجات التي تتوصل إليها.

ومن خبرتنا الشائعة يمكننا تحديد موقع نقطة ما في المكان بواسطة ثلاثة أرقام أو ثلاثة محاور، فمثلًا يمكن القول إن نقطة ما في الحجرة تبعد ٧ أمتار عن أحد الجدران و٣ أمتار عن الجدار الآخر، و٥ أمتار عن الأرض. أو في الإمكان تحديد نقطة تقع عند خطي طول وعرض معينين، وعلى ارتفاع معين من مستوى سطح البحر. ونحن أحرار تمامًا في اختيار أي ثلاثة محاور مناسبة، على الرغم من أن لها مدى معينًا من الصلاحية، فليس عمليًا أن نحدد موقع القمر إذ علمنا كم ميلًا يبعد شمالًا وكم ميلًا يبعد غربًا من ميدان بيكاديللي، وكم قدمًا يبلغ ارتفاعه فوق مستوى سطح البحر، وبدلًا من ذلك يمكن أن نصف موقعه إذا علمنا بعده عن الشمس، والبعد عن مستوى مدارات الكواكب، والزاوية المحصورة بين الخط الذي يصل الشمس بالقمر، والخط الذي يصل الشمس بنجم قريب مثل بروكسيما سنتاوري (Proxima Centauri). وحتى هذه المحاور ليس لها معنى في تحديد موقع الشمس في مجرتنا، أو موقع مجرتنا في المجموعة المحلية للمجرات. وفي الحقيقة من الممكن أن نصف العالم كله بمعلومية تجمع حزم متداخلة. ومن الممكن استخدام فئات مختلفة من ثلاثة محاور في كل حزمة لتحديد موقع نقطة ما.

ووفقًا لمفهوم الزمكان في النسبية؛ فإن أي حدث - بمعنى أي شيء يمكن أن يحدث عند نقطة معينة في المكان وفي زمن معين - يمكن تحديده بأربعة أرقام أو أربعة محاور. ومرة أخرى، تختار هذه المحاور اعتباطيًا، فمن الممكن استخدام أي ثلاثة محاور مكانية محددة بدقة، وأي مقياس للزمن. لكن في النسبية ليس هناك فرق بين محاور المكان ومحاور الزمان تمامًا كما أنه ليس هناك فرق بين محورين مكانيين، فباستطاعتنا اختيار فئة جديدة من المحاور؛ التي فيها المحور المكاني الأول ناتج عن اتحاد المحورين الأول والثاني الأصليين من محاور المكان. وهكذا بدلًا من تحديد موقع نقطة على الأرض بدلالة بعدها بالأميال شمال بيكاديللي وغرب بيكاديللي؛ فإننا من الممكن أن نستخدم بعدها بالأميال عن شمال شرق بيكاديللي وعن شمال غرب بيكاديللي؛ وبالمثل يمكن استخدام محور زماني جديد (والذي كان في السابق بالثواني) بعد أن نضيف المسافة (بالثواني الضوئية) شمال غرب بيكاديللي.

وشيء آخر معروف جيدًا للنسبية هو التكافؤ بين الكتلة والطاقة الواردة في معادلة أينشتاين الشهيرة $E = m C^2$ (حيث E هي الطاقة، و m هي الكتلة، و C هي سرعة الضوء)، وعادة ما يستخدم الناس هذه المعادلة لحساب الطاقة التي تنتج عن تحول قطعة صغيرة من المادة إلى أشعة كهرومغناطيسية خالصة. ونظرًا إلى أن سرعة الضوء كبيرة جدًا؛ فإن تحول الكتلة إلى طاقة يطلق كمًا هائلًا منها، فوزن المادة التي تحولت إلى طاقة في القنبلة التي دمرت هيروشيما كان أقل من أوقية، وتدلنا هذه المعادلة كذلك على أنه إذا ما زادت طاقة الجسم فإن كتلته ستزيد كذلك؛ بمعنى أن مقاومته للتسارع أو التغير في سرعته ستزيد.

وطاقة الحركة هي أحد أشكال الطاقة، وتسمى الطاقة الكيناتيكية (Kinetic Energy)، وكما تتطلب السيارة طاقة لتتحرك كذلك يتطلب الأمر طاقة لزيادة سرعة أي جسم، فطاقة الحركة لأي جسم متحرك تماثل الطاقة التي يجب بذلها على الجسم ليتحرك، ولذلك كلما تحرك الجسم أسرع زادت طاقة حركته. لكن وفقًا للتكافؤ بين الطاقة والكتلة فإن طاقة الحركة تضاف إلى كتلة الجسم، ولذلك كلما كانت حركة الجسم أسرع أصبح من الصعب زيادة سرعته؛ ويكون هذا التأثير ملحوظًا بالنسبة للأجسام التي تتحرك بسرعة تقترب من سرعة الضوء، فمثلًا تزداد كتلة جسم يتحرك بسرعة مقدارها ١٠٪ من سرعة الضوء بمقدار ٠,٥٪ من كتلته العادية، أما إذا كانت سرعته ٩٠٪ من سرعة الضوء. فإن كتلته

ستكون أكبر من ضعف الكتلة العادية. وكلما اقتربت سرعة الجسم من سرعة الضوء فإن كتلته ستزداد بمعدل أكبر، ولذا فإن الأمر سيتطلب المزيد من الطاقة لزيادة سرعته أكثر. وتبعًا للنظرية النسبية لن تصل سرعة أي جسم إلى سرعة الضوء؛ لأنه في هذه الحالة ستصل كتلته إلى مالانهاية، وسيتطلب الأمر كمية لانهائية من الطاقة، تبعًا لتكافؤ الكتلة والطاقة، للوصول إلى مثل هذه السرعة، وهذا هو السبب وراء حقيقة أن أي جسم عادي محكوم أبديا بالنسبية يتحرك بسرعات أقل من سرعة الضوء، أما الضوء نفسه والموجات الأخرى التي ليست لها كتلة ذاتية فإنها تستطيع أن تتحرك بسرعة الضوء فقط.

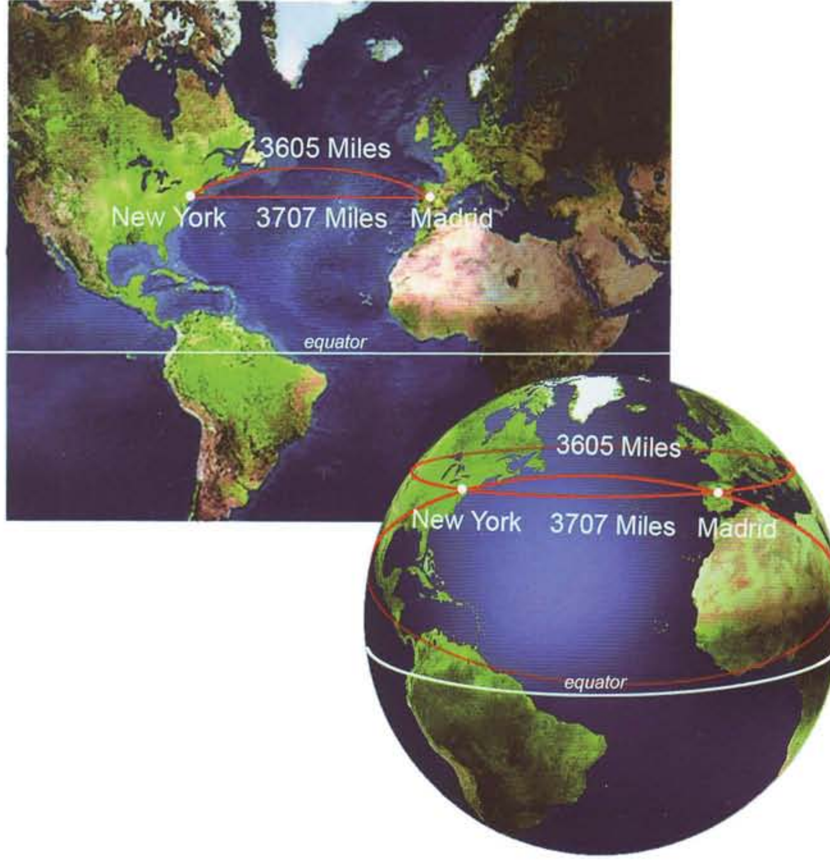
وتسمى النظرية النسبية لأينشتاين التي ظهرت سنة ١٩٠٥ بالنسبية الخاصة، ويرجع ذلك إلى أنها – على الرغم من نجاح هذه النظرية في تفسير ثبات سرعة الضوء بالنسبة لجميع المراقبين، ونجاحها في تفسير ما يحدث عندما تتحرك الأشياء بسرعات تقترب من سرعة الضوء – لم تكن متسقة مع نظرية نيوتن للجاذبية. وتنص نظرية نيوتن على أن الأجسام تنجذب لبعضها بعضًا في جميع الأوقات، بقوة تعتمد على المسافة بينها في هذا الوقت، ويعني ذلك أنه لو تحرك أحد الأجسام فإن القوة المؤثرة في الجسم الآخر ستتغير لحظيًا، فمثلًا إذا اختفت الشمس فجأة فإن نظرية ماكسويل تنبئنا أن الأرض ستظلم بعد ثمان دقائق (يمثل ذلك الفترة التي يستغرقها الضوء ليصل إلينا من الشمس)؛ لكن وفقًا لنظرية نيوتن للجاذبية فإن الجاذبية بين الأرض والشمس ستنعدم وستقفز الأرض من مدارها بعيدًا، وبذلك يكون التأثير الجذبوى لاختفاء الشمس قد وصل إلينا بسرعة لانهائية بدلًا من سرعة الضوء أو أقل منها، كما تتطلب النسبية الخاصة. وقد أجرى أينشتاين عدة محاولات غير ناجحة بين عامي ١٩٠٨ و١٩١٤ للتوصل إلى نظرية للجاذبية تتفق مع النسبية الخاصة. وأخيرًا – وفي سنة ١٩١٥ – اقترح أينشتاين نظريته الأكثر ثورية والتي نطلق عليها الآن النظرية النسبية العامة.

• ٦ •
تحدب الفضاء

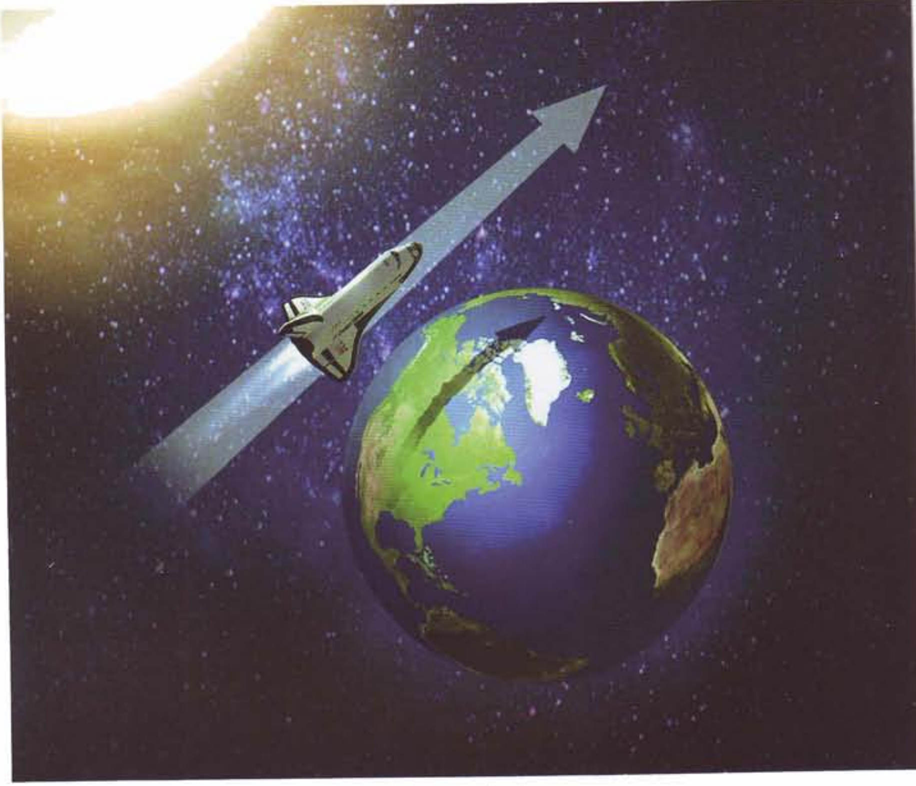
تقوم النظرية النسبية العامة لأينشتاين على الافتراض الثوري بأن الجاذبية ليست قوة مثل القوى الأخرى؛ لكنها نتيجة لحقيقة أن الزمكان ليس مستويًا، كما كان يفترض في السابق، ففي النسبية العام يتحدب الزمكان بسبب توزيع المادة والطاقة من خلاله. ولا تتحرك الأجسام مثل الأرض في مدارات محدبة بتأثير قوة تسمى الجاذبية؛ لكنها بدلًا من ذلك تتحرك في مدارات محدبة، لأنها تتبع أقرب المسارات إلى الخط المستقيم في فضاء محدب يسمى الچيوديسي (Geodesic)، وتقنيًا فإن تعريف الچيوديسي هو أنه أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين متجاورتين.

والمستوى الهندسي مثال على فضاء مستو ذي بعدين تكون الچيوديسي على شكل خطوط عليه، وسطح الأرض فضاء محدب ذو بعدين، ويسمى الچيوديسي على الأرض بالدائرة العظمى؛ فخط الاستواء دائرة عظمى، وبالمثل كل دائرة أخرى على سطح الكرة الأرضية ينطبق مركزها على مركز الأرض، (ومصدر كل دائرة عظمى هو حقيقة أن هذه الدوائر هي أكبر الدوائر التي يمكن رسمها على الكرة الأرضية). وحيث أن الچيوديسي هو أقصر مسار بين مطارين؛ فإن هذا المسار هو خط السير الذي سيحدده الملاح للطيار ليتبعه في طيرانه، فمثلًا يمكن أن تطير من نيويورك إلى مدريد إذا تتبعت البوصلة مسافة ٣٧٠٧

ميلًا في خط مستقيم، متجهًا إلى الشرق مع خط العرض الواحد الذي يربط بين المدينتين، غير أنه يمكنك أن تطير مسافة ٣٦٦٥ ميلًا فقط إذا طرت في مسار ينطبق على الدائرة الكبرى وذلك بالاتجاه إلى الشمال الشرقي، ثم الدوران التدريجي إلى الشرق، ثم إلى الجنوب الشرقي. ومظهر هذين المسارين خادع على الخريطة التي يبدو عليها سطح الكرة الأرضية مشوها ومستويًا؛ فعندما تطير متجهًا إلى الشرق في خط «مستقيم» فإنك في الواقع لا تتبع خطًا مستقيمًا، مقارنة بالمسار الجيوديسي المباشر.



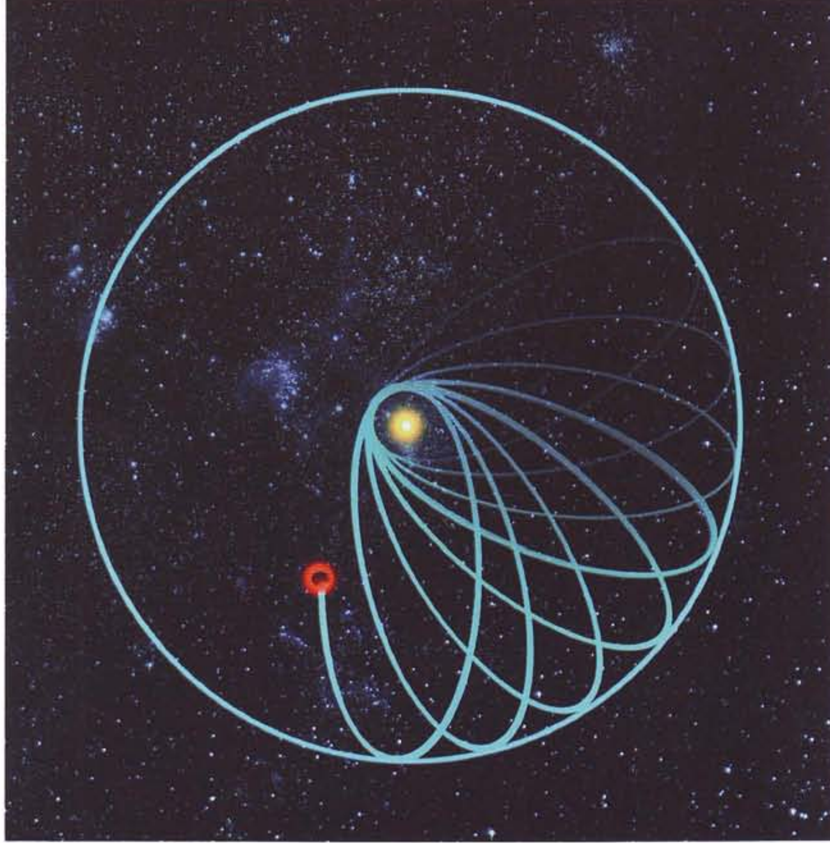
المسافات على الكرة الأرضية
أقصر مسافة بين نقطتين على سطح الكرة الأرضية هي الدائرة الكبرى
التي لا تمثل خطًا مستقيمًا عندما ننظر إلى خريطة مستوية



مسار ظل سفينة فضاء
سيظهر مسار ظل سفينة فضاء تطير في خط مستقيم محدبًا على سطح الكرة الأرضية ثنائي الأبعاد

وتتبع الأجسام المتحركة الخطوط الجيوديسية دائمًا في الأبعاد الأربعة للزمكان وفقًا لنظرية النسبية العامة، وفي غيبة المادة فإن الجيوديسيات في الأبعاد الأربعة للزمكان تقابل خطوطًا مستقيمة في فضاء ذي ثلاثة أبعاد. أما في وجود المادة فإن الزمكان رباعي الأبعاد يصبح مشوهًا، مما يجعل مسارات الأجسام في الفضاء ثلاثي الأبعاد تتحدب بالشكل الذي كان يوصف في نظرية نيوتن القديمة بتأثير قوى الجاذبية. ويشبه ذلك إلى حد ما مشاهدة طائرة في أثناء مرورها فوق منطقة تلال، فقد تكون الطائرة تطير في خط مستقيم خلال فضاء ثلاثي الأبعاد؛ فإذا تخلصنا من البعد الثالث - الارتفاع - فستجد أن ظل الطائرة على الأرض يتبع مسارًا محدبًا على سطح التلال ثنائي الأبعاد. أو فلنتخيل سفينة فضاء تسير في

خط مستقيم في الفضاء وهي تعبر فوق القطب الشمالي للأرض. فسترى أن إسقاط هذا المسار على السطح ثنائي الأبعاد للأرض سيعطي نصف دائرة تنطبق على أحد خطوط الطول في نصف الكرة الشمالي. ومع أنه من الصعب تخيل الظاهرة؛ لكن كتلة الشمس تتسبب في تحدب الزمكان بالشكل الذي يجعل مسار الأرض – على الرغم من أنه يتبع خطًا مستقيمًا في الزمكان رباعي الأبعاد – يبدو لنا كأنه يتبع مسارًا يقترب من الدائري في الفضاء ثلاثي الأبعاد.

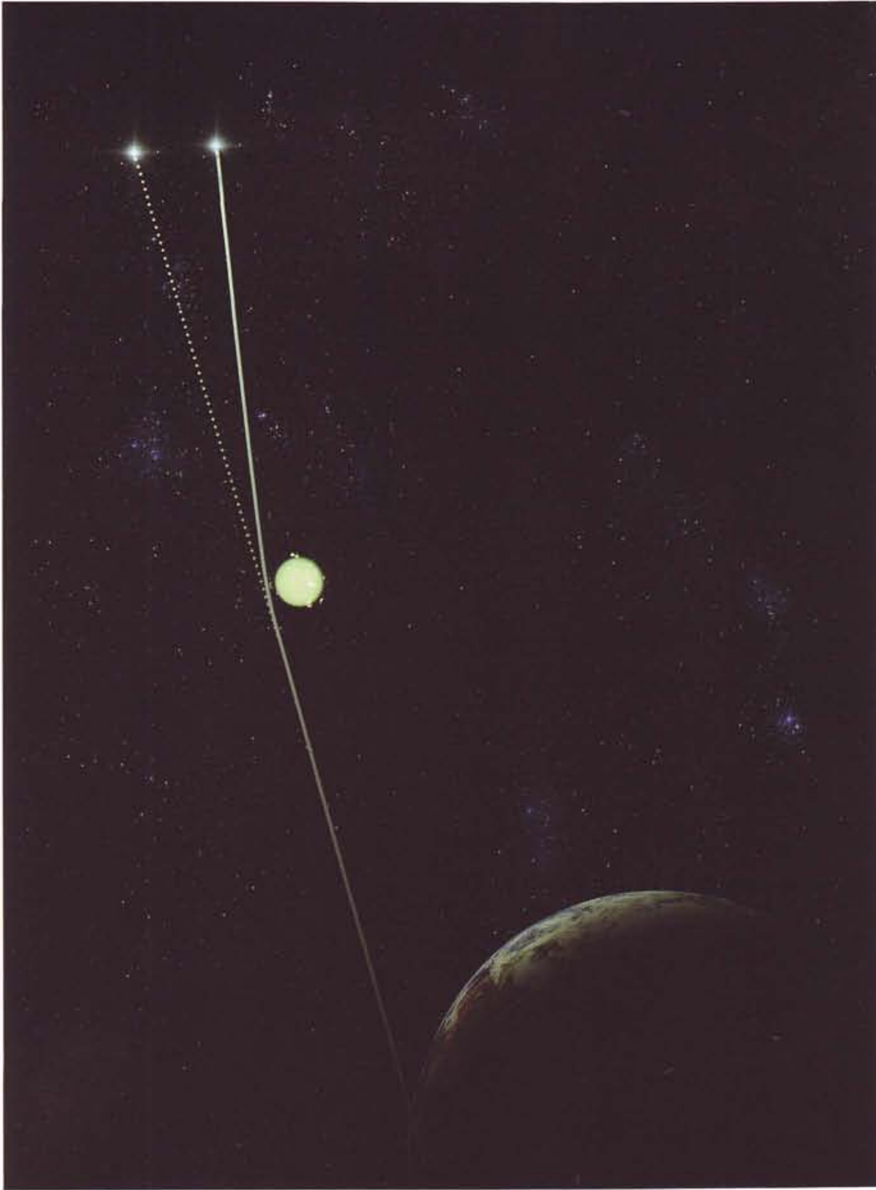


مسارات مدار عطارد
بدوران عطارد حول الشمس يأخذ أطول أقطار مساره البيضاوي في الدوران ببطء
ليصنع دائرة كاملة في ٣٦٠٠٠٠ سنة

ومدارات الكواكب المحسوبة بالنسبية العامة هي نفسها تقريبًا المحسوبة بنظرية الجاذبية لنيوتن، على الرغم من اختلاف طريقة التوصل إليها. ويجيء أكبر اختلاف بين المدارات المحسوبة بالنظريتين في حالة عطارد؛ إذ إنه أقرب الكواكب إلى الشمس وأكثرها تأثرًا بقوى الجاذبية، وله مدار بيضاوي مطول. وتتنبأ النسبية العامة بأن القطر الأطول في المدار البيضاوي لابد أن يدور حول الشمس بمقدار درجة واحدة كل عشرة آلاف سنة، ومع أن هذا التأثير ضئيل إلا أنه رصد قبل سنة ١٩١٥ بكثير (راجع الفصل ٣)، وهو من أوائل الظواهر المؤكدة لنظرية آينشتاين. وفي السنوات الأخيرة قيس أصغر الانحرافات عن تنبؤات نيوتن في مدارات الكواكب باستخدام الرادار، واتضح أنها تتفق مع تنبؤات النسبية العامة.

ولابد أن تتبع أشعة الضوء المسارات الجيوديسية في الزمكان. ومرة أخرى، فإن حقيقة أن الفضاء محدب تعني أن الضوء لم يعد يسير في خطوط مستقيمة في الفضاء، وهكذا فإن النسبية العامة تتنبأ بأن مجال الجاذبية لابد أن يتسبب في انحناء مسار الضوء، فمثلًا تتنبأ النظرية بأن مسار الضوء الذي يمر قرب الشمس لابد أن ينحني قليلًا إلى الداخل بسبب كتلة الشمس، ويعني ذلك أنه لو مر الضوء القادم من نجم بعيد بالمصادفة بجوار الشمس فإنه ينحرف بزاوية صغيرة، مما يجعل النجم يبدو في موقع مختلف بالنسبة للمشاهد من الأرض. فإذا كان الضوء يمر دائمًا بالقرب من الشمس لما استطعنا معرفة ما إذا كان الضوء ينحني، أم أنه في الموقع الذي نراه فيه، غير أنه بدوران الأرض حول الشمس تأخذ نجومًا مختلفة تعبر خلف الشمس وينحني الضوء القادم منها، ولذلك تتغير مواقعها الظاهرية بالنسبة للنجوم الأخرى.

ومن العسير رؤية هذه الظاهرة، إذ يتسبب ضوء الشمس في استحالة رؤية النجوم التي تظهر بجوار الشمس في السماء، إلا أن ذلك يصبح ممكنًا في حالة كسوف الشمس عندما يحجب القمر قرص الشمس. لم يتمكن أينشتاين من اختبار تنبؤاته حول انحراف الضوء مباشرة سنة ١٩١٥؛ لأن الحرب العالمية الأولى كانت في ذروتها حينئذ، لكن بعثة بريطانية تمكنت من متابعة كسوف الشمس من الساحل الغربي لأفريقيا سنة ١٩١٩، وأثبتت أن الضوء ينحرف بالفعل بسبب الشمس تمامًا كما تنبأت النظرية، وقد جاء هذا البرهان من علماء بريطانيين لنظرية ألمانية؛ الأمر الذي عُدَّ خطوة عظيمة في اتجاه الصلح والتسوية بين



انحناء الضوء بالقرب من الشمس
عندما تقع الشمس مباشرة بين الأرض ونجم بعيد؛ فإن مجال جاذبيتها يتسبب في انحناء الضوء فيؤدي إلى تحريف موقعه الظاهري

البلدين. ومن المفارقات أن فحص الصور التي التقطتها البعثة البريطانية أظهر أن الخطأ كان أكبر من القيمة المستهدفة ذاتها. وقد جاءت قياسات البعثة محض ضربة حظ، أو ربما حالة من حالات معرفة النتائج المراد تحقيقها، وهو أمر ليس مستغربًا في العلوم، إلا أن انحراف الضوء قد تأكد بدقة أكثر من مرة في أثناء المشاهدات اللاحقة.

ومن تنبؤات النسبية العامة الأخرى تباطؤ الزمن بالقرب من الأجسام الكثيفة مثل الأرض، وقد تحقق أينشتاين من هذه الظاهرة أول مرة سنة ١٩٠٧، أي قبل خمس سنوات من تيقنه بأن الجاذبية تؤثر في شكل الفضاء وثمان سنوات قبل اكتمال نظريته. وقد توصل أينشتاين إلى هذه الظاهرة باستخدام مبدأ التكافؤ، إذ كان له الأثر نفسه في النسبية العامة الذي كان للافتراض الأساسي في النسبية الخاصة.

وللتذكرة فإن الافتراض الأساسي للنسبية الخاصة ينص على أن قوانين العلوم لابد أن تظل كما هي سارية بالنسبة لجميع المراقبين، الذين يتحركون حركة حرة، مهما كانت السرعة التي يتحركون بها. وبعبارة غير دقيقة: فإن مبدأ التكافؤ هو تطبيق ذلك على الذين لا يتحركون حركة حرة، لكنهم واقعين تحت تأثير مجال جاذبية ما. وبعبارة دقيقة: فإن هناك بعض النقاط الفنية التي تتعلق بهذا المبدأ، مثل حالة عدم انتظام مجال الجاذبية، ففي هذه الحالة لابد من تطبيق المبدأ على أجزاء صغيرة متتالية ومتداخلة في المجال، لكننا لن نشغل أنفسنا بهذا الأمر. ويمكن صياغة المبدأ بالصورة التي تحقق هدفنا الآتي: في المناطق الصغيرة – بما فيه الكفاية من الفضاء – من الصعب أن تعرف ما إذا كنت ساكنًا في مجال الجاذبية أم أنك تتسارع بانتظام في فضاء خال.ولتتخيل أنك في مصعد في فضاء خال وليس هناك جاذبية ولا «فوق» أو «تحت»، إنما أنت تطفو بحرية؛ فإذا بدأ المصعد في التحرك بعجلة ثابتة فإنك ستشعر فجأة بالوزن. ويعني ذلك أنك ستشعر بدفع تجاه أحد جدران المصعد، والذي سيبدو لك أنه أرضية المصعد! وإذا تركت تفاحة تفلت من يدك فإنها ستذهب باتجاه هذه الأرضية. وحقيقة أن كل شيء داخل المصعد قد أخذ يتسارع هي نفسها بالضبط لو كان المصعد لا يتحرك، وكان ساكنًا مستقرًا في مجال جاذبية منتظم. وقد فكر أينشتاين أنه كما أنك لا يمكنك معرفة ما إذا كان القطار يتحرك بسرعة منتظمة أم لا إذا كنت في داخله؛ فإنك كذلك لا تستطيع معرفة ما إذا كان المصعد يتسارع بانتظام، أم أنه في مجال منتظم للجاذبية. والنتيجة

هي مبدأ التكافؤ لأينشتاين.

سيكون مبدأ التكافؤ والمثال المذكور أعلاه صحيحين فقط إذا كانت كتلة القصور الذاتي (الكتلة في قانون نيوتن الثاني، والتي تحدد التسارع عند تطبيق القوة) وكتلة الجاذبية (الكتلة في قانون نيوتن عن الجاذبية، والتي تحدد قوة الجاذبية التي تشعر بها) هما الشيء نفسه (راجع الفصل ٤)، وذلك لأنه لو كانت الكتلتان هما الشيء نفسه فإن جميع الأجسام الموجودة في مجال جاذبية ما ستسقط بالمعدل نفسه، من دون النظر إلى كتلتها، وإذا لم يكن هذا التكافؤ صحيحًا فستسقط بعض الأجسام أسرع من الأخرى تحت تأثير الجاذبية، الأمر الذي يعني أنه من الممكن التمييز بين شد الجاذبية، والتسارع المنتظم الذي تسقط فيه جميع الأجسام بالسرعة نفسها. وقد جاء استخدام أينشتاين للتكافؤ بين كتلة القصور الذاتي وكتلة الجاذبية من أجل التوصل إلى مبدأ التكافؤ، ثم في النهاية التوصل إلى كل ما جاءت به النسبية العامة، وقد جاء ذلك متوجًا لمسيرة شاقة من التفكير المنطقي لم تشهد البشرية لها مثيلًا في تاريخها.

والآن – وبعد أن عرفنا مبدأ التكافؤ – نستطيع إجراء تجربة ذهنية أخرى، متبعين منطق أينشتاين، لإثبات أن الزمن لابد أن يتأثر بالجاذبية، تخيل سفينة صاروخية طويلة جدًا منطلقة فى الفضاء بحيث يقطعها الضوء من قمتها إلى أسفلها في ثانية واحدة، وافترض وجود مشاهد في قمة السفينة ومشاهد في أسفلها، ومع كل واحد منهما الساعة نفسها التي تدق مرة كل ثانية بالضبط. وافترض أن المراقب الموجود في قمة السفينة ينتظر دقة الساعة ليرسل لحظيًا إشارة ضوئية في اتجاه المراقب الموجود أسفل السفينة، ويكرر المراقب في قمة السفينة مرة إخرى إرسال الإشارة الضوئية مع دقة الساعة التالية، وبناء على هذا النظام فإن كل إشارة تقطع المسافة بين المراقبين في ثانية واحدة، وهكذا إذا أرسل مراقب القمة إشارتين متتاليتين فإن المراقب أسفل السفينة سيتلقى إشارتين بينهما ثانية واحدة.

كيف إذن ستختلف هذه الصورة لو كانت السفينة الصاروخية ساكنة على الأرض تحت تأثير الجاذبية بدلًا من السباحة الحرة في الفضاء؟ وفقًا لنظرية نيوتن ليس للجاذبية تأثير على هذا الوضع، فإذا أرسل المراقب في قمة السفينة إشارات بين كل منها ثانية واحدة؛ فإن

المراقب الآخر سيتلقى هذه الإشارات وبين كل منها ثانية واحدة. ولكن مبدأ التكافؤ لا يعطي مثل هذا التنبؤ ويمكن أن نرى ما الذي يحدث عند تطبيق هذا المبدأ إذا أخذنا في الحسبان التسارع المنتظم بدلًا من تأثير الجاذبية، وهذا مثال واحد على الطريقة التي استخدم فيها آينشتاين مبدأ التكافؤ للتوصل إلى نظرية للجاذبية.

لنفترض الآن أن السفينة تتسارع، (سنتخيل أنها تتسارع ببطء حتى لا تصل إلى سرعة الضوء)، وحيث إن السفينة تتحرك إلى الأعلى؛ فإن الإشارة الضوئية الأولى ستقطع مسافة أقل وستصل في زمن أقصر من ثانية واحدة. فإذا كانت السفينة تسير بسرعة ثابتة، فإن الزمن بين إشارتين متتاليتين سيكون هو الزمن الأول نفسه، وهكذا يصبح الفرق بين الإشارات ثانية واحدة بالضبط، لكن بسبب التسارع فإن السفينة الصاروخية ستتحرك أسرع وأسرع من ذي قبل مع كل إشارة ترسل، وهكذا ستقطع كل إشارة مسافة أقصر من الإشارة التي قبلها وستصل في زمن أقصر، وسيرصد المراقب أسفل السفينة زمنًا بين الإشارات أقل من ثانية واحدة، ولن يتفق في قياس الزمن مع المراقب الموجود في قمة السفينة، والذي سيؤكد أنه أرسل الإشارات بفارق ثانية واحدة بالضبط.

وليس ذلك مروعًا في حالة السفينة الصاروخية المتسارعة، ففي النهاية فسرنا الأمر فقط! وعليك أن تتذكر أن مبدأ التكافؤ ينص على أنه ينطبق كذلك على السفينة الصاروخية؛ حتى لو كانت ساكنة في مجال للجاذبية، ويعني ذلك أنه حتى لو كانت السفينة لا تتسارع، ولكنها موجودة على منصة الإطلاق على سطح الأرض؛ فإن الإشارات التي سيرسلها المراقب في قمة السفينة بفارق ثانية واحدة من الزمن (تبعًا لساعته) سيستقبلها المراقب أسفل السفينة بفاصل أقل من الزمن (تبعًا لساعته)، إنه شيء مروع.

وقد تظل تتساءل عما إذا كانت الجاذبية تغير من الزمن أم أنها مفسدة للساعات فحسب. ولنفترض أن المراقب أسفل السفينة قد أخذ يتسلقها ليصعد إلى المراقب في قمتها ليقارنا ساعتيهما. وبما أن الساعتين متماثلتين فإن المراقبين سيتفقان على طول واحد للثانية. وليس هناك أي خطأ في ساعة المراقب أسفل السفينة، فساعته تقيس سريان الزمن المحلي مهما كان ذلك السريان. وهكذا فإن النسبية الخاصة تدلنا على أن الزمن يسري بطريقة مختلفة

بالنسبة للمراقبين الذين يتحركان بالنسبة لبعضهما بعضًا، بينما تدلنا النسبية العامة على أن الزمن يسري بطريقة مختلفة بالنسبة لمراقبين على ارتفاعات مختلفة في مجال الجاذبية. ووفقًا للنسبية العامة فإن المراقب أسفل السفينة سيقيس زمنًا أقل من ثانية بين الإشارات؛ لأن الزمن يسير أبطأ بالقرب من سطح الأرض. وكلما كان مجال الجاذبية أقوى أصبح تأثيره أكبر، وقد وضعت نظرية نيوتن النهاية لفكرة المكان المطلق؛ أما النظرية النسبية فقد وضعت النهاية لفكرة الزمن المطلق.

وقد اختبرت هذه التنبؤات في سنة ١٩٦٢ باستخدام زوج من الساعات عالية الدقة، وضعت إحداها في قمة برج للمياه، والأخرى قرب قاعدته. وقد وجد أن الساعة القريبة من قاعدة البرج – وهي الأقرب إلى سطح الأرض – تسير أبطأ متفقة تمامًا مع النسبية العامة، كان التأثير ضئيلًا، فلو وضعت ساعة على ارتفاع يماثل ارتفاع الشمس عن الأرض لكانت متقدمة بمقدار دقيقة واحدة من الزمن كل سنة على الساعةالتي على سطح الأرض. ومع تقدم أنظمة الملاحة الفضائية الدقيقة والقائمة على إشارات الأقمار الصناعية؛ فإن فرق السرعة بين الساعات على الارتفاعات المختلفة من سطح الأرض له أهمية خاصة، فإذا أهمل هذا التنبؤ بالنسبة للسفينة القادمة فإن الموقع المستهدف سيختلف بمقدار عدة أميال من الصواب.

وتتأثر ساعاتنا البيولوجية بالمقدار نفسه بسريان الزمن، خذ مثلًا زوجًا من التوائم، افترض أن أحدهما قد ذهب ليعيش على قمة جبل، بينما ظل الآخر عند مستوى سطح البحر؛ سيتقدم العمر بالتوأم الأول أكثر من الثاني، وهكذا إذا التقيا مرة ثانية فسيكون أحدهما مسنًا أكثر من الآخر، وفي هذه الحالة سيكون فرق السن صغيرًا جدًا. لكن إذا سافر أحدهما في رحلة على متن سفينة فضاء تسارعت بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن فرق السن سيكون أكبر من ذلك كثيرًا، وعندما يعود المسافر إلى الأرض سيكون أكثر شبابًا من الذي مكث على سطح الأرض، ويسمى ذلك بتناقض التوائم، وهو بالنسبة إليك تناقض لو كنت لا تزال تحتفظ في ذهنك بفكرة الزمن المطلق. وفي النظرية النسبية ليس هناك زمن مطلق ومتفرد، وبدلًا من ذلك فإن لكل فرد زمنه الشخصي الخاص الذي يعتمد على موقعه، وعلى الحركة التي يمارسها.

وقبل سنة ١٩١٥ كان الاعتقاد السائد أن المكان والزمان مسرح ثابت تجري عليه الأحداث فحسب، ولا يتأثر بما يحدث عليه، وقد كان ذلك صحيحًا حتى بالنسبة للنظرية النسبية الخاصة، وكانت الأجسام تتحرك وتتجاذب وتتنافر القوى، بينما كان الزمان والمكان كما هما لا يتأثران بشيء، وكان من الطبيعي أن الزمان والمكان أبديان. غير أن الوضع ليس كذلك في النسبية العامة، وقد أصبح الزمان والمكان كميات ديناميكية: إذا تحرك جسم أو أثرت فيه قوة سيؤثر ذلك في تحدب الزمان والمكان - وستقوم بنية الزمكان بدورها بالتأثير في طريقة حركة الجسم، والقوى التي تؤثر فيه. ولا يؤثر المكان والزمان في الأشياء بل إنهما يتأثران بكل ما يحدث في العالم. وكما أننا لا نستطيع الحديث عن أحداث العالم من دون إخضاعها لمفهوم الزمان والمكان؛ كذلك الأمر في النسبية العامة يصبح لا معنى له أن نتحدث عن الزمان والمكان خارج حدود العالم. وكان لابد أن يؤدي فهمنا الجديد عن المكان والزمان بعد سنة ١٩١٥ إلى تثوير نظرتنا للعالم، وكما سنرى فإن الفكرة القديمة عن عالم ثابت لا يتغير – والتي كان من الممكن أن تستمر إلى الأبد – قد استبدل بها مفهوم ديناميكي لكون متمدد، والذي يبدو أنه قد بدأ في وقت محدد في الماضي، وسينتهي في وقت محدد في المستقبل.

• ٧ •
تمدد الكون

إذا نظرت إلى السماء في ليلة صافية غير مقمرة فإن أكثر الأشياء بريقًا – والتي من المحتمل أن تراها – هي كواكب الزهرة والمريخ والمشتري وزحل، وسترى كذلك عددًا كبيرًا من النجوم التي تشبه الشمس لكنها أبعد كثيرًا جدًا عنا، ويبدو أن بعض هذه النجوم الثابتة تغير قليلًا جدًا من مواضعها، بالنسبة إلى بعضها بعضًا كلما دارت الأرض حول الشمس. إنها في الحقيقة ليست ثابتة إطلاقًا! ويرجع ذلك إلى أنها هي الأقرب إلينا نسبيًا، فكلما دارت الأرض حول الشمس فإننا نرى النجوم الأقرب إلينا من زوايا مختلفة على خلفية النجوم الأبعد، ويشابه هذا التأثير تمامًا ما يحدث عندما تقود سيارتك على طريق مفتوح، وترى الأشجار على جانبي الطريق وكأنها تتحرك مقارنة بالأشياء التي في الأفق، وكلما كانت الأشجار أقرب بدت حركتها أكبر، ويسمى هذا التغير في الوضع النسبي أنه اختلاف الوضع الظاهري، ونحن محظوظون في حالة النجوم؛ لأنها تمكننا من قياس بُعد هذه النجوم عنا مباشرة.

وكما ذكرنا من قبل؛ فإن النجم بروكسيما سنتاوري (Proxima Centauri) يبعد عنا نحو أربع سنوات ضوئية، أو ٢٣ مليون مليون ميل، وتقع معظم النجوم التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة على مسافة بضع مئات من السنوات الضوئية. وبالمقارنة فإن شمسنا تبعد عنا

ثمان دقائق ضوئية فقط، وتبدو النجوم المرئية كأنها منتشرة في السماء ليلًا لكنها تتجمع بصفة خاصة في حزمة واحدة تسمى درب اللبانة (Milky Way). ومنذ سنة ١٧٥٠ رأي بعض الفلكيين أنه يمكن تفسير ظهور درب اللبانة إذا كانت معظم النجوم المرئية تقع في تجمع على شكل قرص، ويسمى أحد الأمثلة على ذلك بالمجرة الحلزونية (Spiral Galaxy)، وبعد عدة عقود فقط من ذلك أكد السير وليم هيرتشيل (William Herschel) هذه الفكرة، ووضع أطلسًا لمواقع ومسافات عدد هائل من النجوم، ومع ذلك لم تلق هذه الفكرة قبولًا تمامًا إلا في أوائل القرن العشرين، ونحن نعرف اليوم أن قطر درب اللبانة ـ مجرتنا ـ يبلغ مائة ألف سنة ضوئية، وأنها تدور ببطء حول محورها؛ فتدور النجوم التي في أذرع المجرة الحلزونية حول محور المجرة مرة كل عدة مئات الملايين من السنين، وتعتبر شمسنا نجمًا أصفر متوسطًا يقع بالقرب من الطرف الداخلي لإحدى هذه الأذرع الحلزونية، وقد ابتعدنا كثيرًا منذ أفكار أرسطو وبطليموس عن فكرة أن الأرض هي مركز الكون.

وترجع صورتنا الحالية عن العالم إلى سنة ١٩٢٠، عندما بيّن الفلكي الأمريكي إدوين هابل (Edwin Hubble) أن درب اللبانة ليست هي المجرة الوحيدة. فقد وجد بالفعل عددًا «كبيرًا» آخر من المجرات، ووجد فيها مسافات شاسعة خالية. وحتى يتمكن هابل من إثبات هذه الصورة كان في حاجة إلى تحديد المسافات بين الأرض وهذه المجرات، لكن هذه المجرات كانت بعيدة للدرجة التي بدت فيها وكأنها ثابتة في مواقعها، على خلاف الصورة التي بدت عليها النجوم القريبة. وحيث إن هابل لم يتمكن من استخدام تغير الموقع الظاهرى للمجرات القريبة والبعيدة، فإنه كان مضطرًا لاستخدام طرائق غير مباشرة لقياس هذه المسافات الشاسعة. وإحدى طرائق القياس الواضحة لهذه المسافة هو شدة لمعان النجم، ولكن لا يعتمد اللمعان الظاهري للنجم على بعده عنا فحسب؛ بل يعتمد كذلك على كمية الضوء التي يشعها النجم (درجة إضاءته). فتبدو النجوم القريبة أكثر لمعانًا من المجرات البعيدة حتى لو كانت أكثر عتمة منها، ولذا إذا أردنا استخدام اللمعان الظاهري لنجم مقياسًا لبعده عنا فلابد من معرفة درجة إضاءته.







تغير المواقع

تتغير المواقع النسبية للأشياء القريبة والبعيدة بالنسبة لحركتك؛ سواء كنت تقطع الطريق أم كنت في الفضاء. ويمكن استخدام هذا التغير في الموقع لتحديد المسافة النسبية التي عليها الأشياء

ويمكن حساب درجة إضاءة النجوم القريبة إذا علمنا شدة لمعانها؛ لأن التغير في مواقعها يمكننا من حساب مسافتها. وقد أشار هابل إلى أنه يمكن تقسيم النجوم القريبة إلى أنواع معينة بحسب نوع الضوء الذي يشع منها، ويتميز كل نوع من هذه النجوم بنمط ثابت من شدة الإضاءة دائمًا. فكر هابل أنه إذا كانت هذه الأنواع من النجوم في مجرة بعيدة؛ فمن الممكن أن نفترض أن لها شدة الإضاءة نفسها مثل مثيلاتها القريبة. وإذا علمنا هذه الحقيقة يمكننا حساب بعد تلك المجرة عنا، فإذا أجرينا هذه العملية الحسابية لعدد من النجوم في المجرة نفسها وأعطت دائمًا المسافات نفسها؛ فإننا نكون بذلك قد تأكدنا من صحة قياساتنا. وهكذا حسب هابل بهذه الطريقة المسافة إلى تسع مجرات مختلفة.

ونحن نعلم اليوم أن النجوم المرئية بالعين المجردة لا تشكل إلا جزءًا ضئيلًا من كل النجوم، وفي استطاعتنا رؤية خمسة آلاف نجم بالعين المجردة لا تمثل إلا ٠,٠٠٠١ ٪ من كل النجوم التي في مجرتنا درب اللبانة، وما مجرتنا درب اللبانة نفسها إلا واحدة من أكثر من مائة بليون مجرة، يمكن رؤيتها باستخدام التلسكوبات الحديثة، وتحتوي كل مجرة منها على نحو مائة بليون نجم في المتوسط. فإذا شبهنا النجم بحبة ملح فإن عدد النجوم التي نراها بالعين المجردة تملأ ملعقة صغيرة، أما كل النجوم في الكون فتملأ بالونًا قطره ثمانية أميال.

والنجوم بعيدة عنا إلى الدرجة التي تبدو لنا وكأنها رأس دبوس من الضوء. ولا نستطيع رؤية شكلها أو حجمها. لكن – وكما أشار هابل هناك العديد من أنواع النجوم المختلفة التي يمكن تصنيفها تبعًا للون الضوء الصادر عنها. كان نيوتن قد اكتشف أنه لو مر ضوء الشمس من خلال منشور ثلاثي من الزجاج فإنه يتحلل إلى الألوان المكونة له، كما يحدث في قوس قزح، ويطلق على الشدة النسبية للألوان المختلفة التي يتحلل إليها الضوء اسم الطيف (Spectrum)، فإذا وجهنا التلسكوب إلى نجم أو مجرة بعينها فإننا سنشاهد طيف الضوء الصادر عن هذا النجم أو المجرة.

وينبئنا هذا الضوء بدرجة حرارة النجم أو المجرة. وفي سنة ١٨٦٠ تحقق الفيزيائي الألماني جوستاف كيرتشوف (Gustav Kirchhoff) أن أي جسم مادي مثل النجم سيصدر عنه ضوء، أو إشعاع آخر عند تسخينه، مثل الفحم الذي يتوهج بالتسخين. وسبب صدور

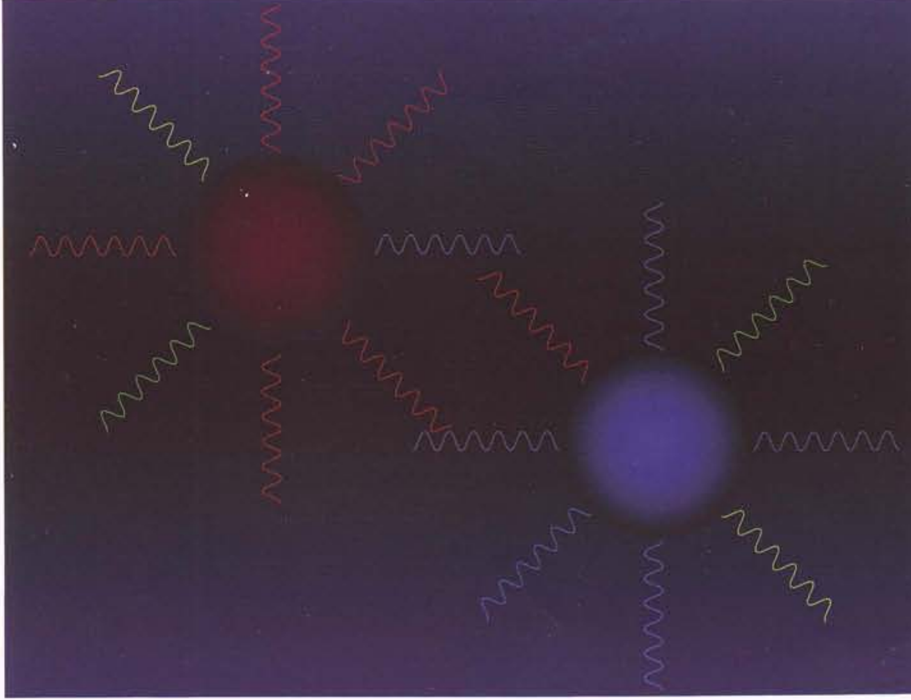
الضوء من هذه الأجسام المتوهجة هو الحركة الحرارية للذرات التي داخل هذه الأجسام. ويسمى ذلك بإشعاع الجسم الأسود (حتى ولو كانت الأجسام المتوهجة ليست سوداء). ومن الصعب عدم إدراك طيف إشعاع الجسم الأسود؛ فهو شكل متميز يتغير بتغير درجة حرارة الجسم، وبذا فإن الضوء الصادر عن الجسم المتوهج يشبه قراءة الترمومتر، وما نشاهده من طيف لمختلف النجوم هو دائمًا على شكل بطاقة الحالة الحرارية للنجم.

وإذا أمعنّا النظر أكثر فإن ضوء النجوم ينبئنا بالمزيد؛ فسوف نجد أن هناك ألوانًا معينة ومحددة غير موجودة، وقد تختلف هذه الألوان الغائبة من نجم إلى نجم. وحيث إن كل عنصر كيميائي يمتص فئة معينة من الألوان التي يتميز بها؛ فإننا نستطيع – بمقارنة هذه الفئة من الألوان بالألوان الغائبة في طيف النجم – تحديد العناصر التي في الغلاف الجوي للنجم.



طيف النجوم
يمكن تحديد كل من درجة حرارة النجم وتركيب غلافه الجوي بتحليل مكونات ألوان ضوء النجم

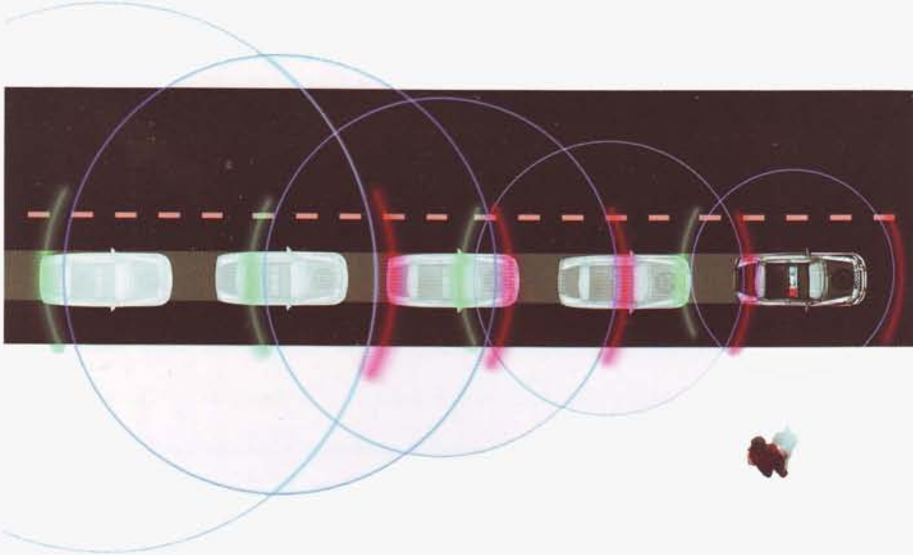
وفي العشرينيات من القرن العشرين – وعندما بدأ الفلكيون في دراسة أطياف النجوم في المجرات الأخرى – اكتشفوا شيئًا في غاية الغرابة؛ فقد كانت هناك الأنساق نفسها من الألوان الغائبة كما هو الحال في نجوم مجرتنا، لكنها جميعًا كانت مزاحة تجاه النهاية الحمراء للطيف بالمقدار النسبي نفسه تقريبًا.



طيف الجسم الأسود
تصدر كل الأجسام ـ وليس النجوم وحدها ـ إشعاعًا ناتجًا عن الحركة الحرارية لمكوناتها الميكروسكوبية، ويميز توزيع ترددات هذا الإشعاع درجة حرارة النجم

ويسمي الفيزيائيون إزاحة اللون أو التردد بظاهرة دوبلر (Doppler Effect)، وهي ظاهرة مألوفة عندنا في عالم الأصوات، فعند اقتراب سيارة منك ستسمع صوت محركها أو بوقها في نغمة حادة، وعندما تمر السيارة بجوارك وتأخذ في الابتعاد عنك ستسمع صوتًا

أقل حدة. وما صوت محرك السيارة أو بوقها إلا موجات، بمعنى أنها قمم وقيعان متتالية، فإذا كانت السيارة تتحرك مقتربة منا ستكون المسافة بين كل موجة وأخرى أقرب وأقرب، وعليه ستصبح أطوال الموجات أقصر مما إذا كانت السيارة متوقفة. وكلما قصر طول الموجة ازداد عدد الترددات في الثانية، ويصبح الصوت أكثر حدة أو أعلى ترددًا. وهكذا إذا كانت السيارة مبتعدة عنا فسيزداد طول الموجات التي تصل إلى آذاننا ويقل ترددها، وكلما زادت سرعة السيارة زاد هذا التأثير. وهكذا نستطيع استخدام ظاهرة دوبلر لقياس السرعة. ويتشابه سلوك الضوء — أو موجات الراديو — مع هذا السلوك، وفي الواقع تستخدم الشرطة ظاهرة دوبلر لقياس سرعة السيارات؛ وذلك برصد أطوال موجات الراديو التي تنعكس عنها على صورة نبضات.



ظاهرة دوبلر
عندما يتحرك مصدر الموجات في اتجاه المشاهد، فإن الموجات تظهر أقصر.
أما إذا تحرك مصدر الموجات مبتعدا، فإن الموجات تظهر أطول.
ويطلق على ذلك ظاهرة دوبلر

وكما لاحظنا في الفصل الخامس فإن أطوال موجات الضوء المرئي متناهية الصغر، وتتراوح بين ٤٠ و ٨٠ جزءًا من المليون من السنتيمتر. وما أطوال الموجات المختلفة للضوء إلا ما تراه العين من ألوان مختلفة؛ فأطول هذه الموجات يظهر عند النهاية الحمراء للطيف، أما أقصرها فيظهر عند النهاية الزرقاء له. ولنتخيل مصدرًا للضوء على مسافة ثابتة منا – كنجم مثلًا – يشع موجات من الضوء لها طول ثابت، ستكون أطوال الموجات التي نستقبلها من هذا النجم هي أطوال الموجات نفسها التي يشعها، ولنفترض الآن أن النجم قد بدأ يتحرك مبتعدًا عنا – كما في حالة الصوت – فإن ذلك يعني أن طول الموجة سيزداد، ومن ثم فإن طيفه سيزاح تجاه النهاية الحمراء للطيف.

قضى هابل حياته في صياغة أطلس المجرات، وقياس مسافاتها، ودراسة أطيافها، خلال السنوات التي أعقبت اكتشافه لمجرات أخرى، وفي ذلك الوقت كان معظم الناس يظنون أن المجرات تتحرك بطريقة عشوائية تمامًا، وبذلك فإن هابل قد توقع أن يجد عددًا متساويًا من الإزاحات الحمراء والزرقاء، وقد كانت مفاجأة له أنه اكتشف أن معظم المجرات لها إزاحات حمراء، لقد كانت كل المجرات تقريبًا تتحرك مبتعدة عنا! والمفاجأة الأكثر من ذلك ما نشره هابل سنة ١٩٢٩: فحتى مقدار الإزاحة الحمراء لم يكن عشوائيًا، وإنما كان يتناسب مع بعد المجرة عنا. وبعبارة أخرى كلما زاد بعد المجرة عنا كان تباعدها أسرع! وكان ذلك يعني أن العالم لا يمكن أن يكون ساكنًا أو لا يتغير حجمه، كما كان يعتقد كل إنسان؛ إن العالم يتمدد بالفعل، وتتزايد المسافات بين المجرات المختلفة مع الزمن طول الوقت.

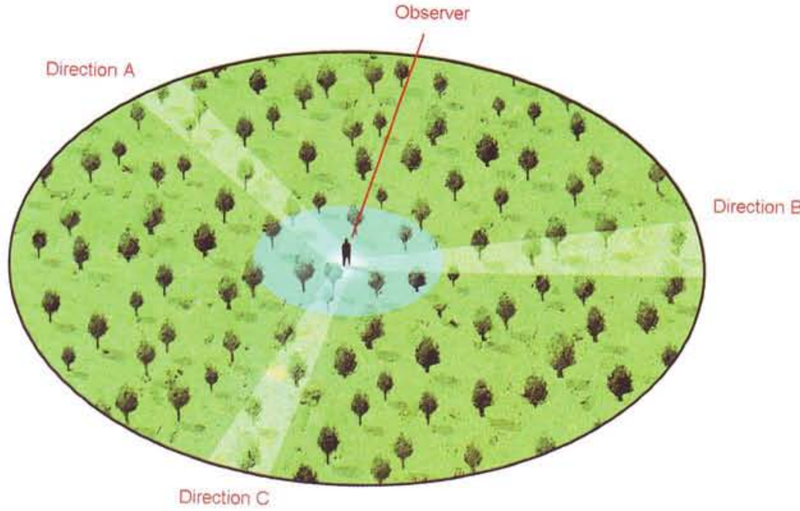
كان اكتشاف تمدد العالم واحدة من أعظم الثورات الفكرية في القرن العشرين، ومن المستغرب أن أحدًا لم يفكر في هذا الأمر من قبل. كان لابد لنيوتن والآخرين أن يوقنوا بأن الكون الساكن سيكون غير مستقر؛ إذ ليس فيه قوى تنافر تتزن مع قوة شد الجاذبية التي يمارسها كل نجم، وكل مجرة بعضها على بعض. ولذلك لو كان الكون ساكنًا يومًا ما فإنه لن يبقى على هذا الحال؛ لأن التجاذب المتبادل بين كل النجوم والمجرات كان سيجعله يتقلص. وفي الحقيقة – وحتى إذا كان العالم يتمدد ببطء معقول – فإن قوة الجاذبية كانت ستجعله يتوقف عن التمدد ليبدأ في الانكماش في النهاية. غير أنه لو كان العالم يتمدد بسرعة أكبر من قيمة حرجة؛ فإن الجاذبية لن تقوى على إيقاف هذا التمدد، وسيظل العالم يتمدد إلى الأبد.

ويشبه ذلك عملية إطلاق صاروخ من سطح الأرض إلى أعلى، فإذا كانت سرعة الصاروخ بطيئة بقدر ما؛ فإن الجاذبية ستوقفه في النهاية ليبدأ في السقوط عائدًا إلى الأرض. ومن جهة أخرى إذا كانت سرعة الصاروخ أكبر من قيمة حرجة معينة — ٧ أميال في الثانية — فإن الجاذبية لن تقوى على إعادته إلى الأرض، وهكذا سيظل الصاروخ مبتعدًا عن الأرض إلى الأبد.

كان من الممكن التنبؤ بمثل هذا السلوك من نظرية الجاذبية لنيوتن في أي وقت من القرن التاسع عشر، أو الثامن عشر، أو حتى في أواخر القرن السابع عشر، ومع ذلك كان الاعتقاد في عالم ساكن من القوة بحيث صمد حتى القرن العشرين، وحتى أينشتاين عندما صاغ النظرية النسبية العامة سنة ١٩١٥ كان متأكدًا جدًّا أن العالم ساكن، إلى درجة أنه حوَّر نظريته ليجعل ذلك ممكنًا، وذلك بإدخال معامل معين أطلق عليه الثابت الكوني في معادلاته. كان للثابت الكوني قوة تأثير جديدة سميت بالجاذبية المضادة، والتي لم تكن مثل أي قوة أخرى، فهي لم تأت من مصدر معين؛ لكنها كانت دفينة في نسيج الزمكان ذاته، ونتيجة لهذه القوة الجديدة أصبح للزمكان ميل ذاتي للتمدد. وبتعديل الثابت الكوني تمكن أينشتاين من تعديل قوة هذا الميل، وقد اكتشف أنه من الممكن إجراء هذا التعادل ليوازن تمامًا الجذب المتبادل لكل المادة في الكون، حتى يتوصل إلى كون ثابت. وفيما بعد تخلص أينشتاين من الثابت الكوني، وأطلق على ذلك المعامل الدخيل «الخطأ الأعظم». وكما سنرى لاحقًا فإن لنا من الأسباب اليوم ما يجعلنا نعتقد أنه كان على صواب عندما أدخل هذا المعامل، غير أن ما سبب الإحباط لأينشتاين هو تمكن فكرة العالم الساكن منه، حتى أنها طغت على ما بدا أن نظريته تتنبأ به؛ وهو أن العالم يتمدد. واحد فقط من العلماء هو الذي أخذ هذا التنبؤ من النسبية العامة مأخذ الجد، فبينما كان أينشتاين والفيزيائيون الآخرون يبحثون عن طرائق تجنب النسبية العامة عدم استاتيكية الكون؛ أخذ الفيزيائي وعالم الرياضيات الروسي ألكسندر فريدمان (Alexander Friedmann) يفسر سبب عدم سكون الكون.

افترض فريدمان أمرين في غاية البساطة بالنسبة للعالم؛ أن العالم يبدو متماثلًا في أي اتجاه نظرت إليه، وأن هذا الأمر صحيح حتى إذا كنا نراقب العالم من أي مكان آخر. ومبتدئًا بهاتين الفكرتين — وبحل معادلات النسبية العامة — أثبت فريدمان أننا يجب ألا نتوقع أن

يكون الكون ساكنًا. وفي حقيقة الأمر فإن فريدمان قد تنبأ سنة ١٩٢٢ – أي قبل اكتشافات هابل بخمس سنوات ـ بما اكتشفه إدوين هابل فيما بعد!.



أيزوتروبية الغابة (تماثل الغابة)
إذا كانت الأشجار موزعة بتجانس في الغابة فإن الأشجار القريبة قد تبدو غير ذلك، وبالمثل فإن العالم لا يبدو متماثلًا بالنسبة لجيراننا المحليين؛ لكن على المستوى الأكبر فإن المنظر يبدو متماثلًا في أي اتجاه ننظر إليه

وليس افتراض أن الكون يبدو متماثلًا عند النظر إليه في أي اتجاه دقيق تمامًا؛ فكما لاحظنا تشكل النجوم الأخرى في مجرتنا حزمة متميزة من الضوء تمتد عبر السماء الليلية، وتسمى درب اللبانة. أما إذا نظرنا إلى المجرات البعيدة فيبدو أن هناك نفسه العدد تقريبًا من المجرات في كل اتجاه، وهكذا يبدو أن الكون متماثل بالفعل في كل الاتجاهات تقريبًا، بشرط ملاحظته على المستوى الأكبر بالنسبة للمسافات بين المجرات، مع إهمال الاختلافات على المستوى الصغير، تخيل أنك تقف وسط غابة تنمو أشجارها بطريقة عشوائية؛ فإذا نظرت

في أحد الاتجاهات فربما ترى إحدى الأشجار القريبة على مسافة متر واحد، وإذا نظرت في اتجاه آخر فقد تكون أقرب شجرة على مسافة ثلاثة أمتار، أما في اتجاه ثالث فقد يكون هناك شجرة على مسافة مترين. لا يبدو وكأن الغابة تظهر متماثلة في كل اتجاه أما إذا وضعت في حسبانك الأشجار في دائرة نصف قطرها ميل؛ فإن مثل هذه الاختلافات ستتلاشى في المتوسط، وستجد أن الغابة متماثلة في جميع الاتجاهات أينما وجهت بصرك.

ولفترة طويلة كان التوزيع المنتظم للنجوم مسوغًا كافيًا لفرضية فريدمان وتقريبًا غير دقيق للعالم الحقيقي. وقد ساهمت مصادفة طيبة في الكشف عن مجال آخر، ثبت منه أن فرضية فريدمان في الحقيقة تصف عالمنا بدقة؛ ففي سنة ١٩٦٥ كان فيزيائيان أمريكيان من معامل بل للتليفونات في نيوجيرسي – هما آرنو بنزياس (Arno Penzias)، وروبرت ويلسون (Robert Wilson) – يختبران أحد المجسات الدقيقة والحساسة للموجات الميكروية (ولنتذكر أن الموجات الميكروية مثل موجات الضوء تمامًا؛ إلا أن أطوالها تصل إلى نحو سنتيمتر واحد)، وقد انزعج بنزياس وويلسون عندما التقط مجسهما إشارات ضجيج أكثر مما كان ينبغي التقاطه، واكتشفا أن هناك نفايات للطيور في المجس كما وجدا هنا بعض العيوب. لكن اتضح أن كل ذلك ليس السبب في هذا الضجيج، كان الضجيج من الغرابة بحيث ظل هو نفسه ليلًا ونهارًا، وعلى مدار السنة، على الرغم من دوران الأرض حول محورها وحول الشمس. وحيث إن دوران الأرض حول محورها وحول الشمس قد وجَّه المجس في اتجاهات مختلفة في الفضاء؛ فإن بنزياس وويلسون توصلا إلى أن هذا الضجيج كان يأتي من خارج المجموعة الشمسية، بل حتى من خارج المجرة، وقد بدا أن هذا الضجيج يجيء من كل صوب بالشدة نفسها. ونحن نعرف الآن أنه في أي اتجاه نظرنا فإن هذا الضجيج لن يتغير إلا في حدود ضئيلة؛ وهكذا وقع بنزياس وويلسون على مثال صارخ على صحة فرضية فريدمان الأولى، والتي تنص على أن العالم متماثل في جميع الاتجاهات.

فما هو مصدر هذه الخلفية من الضجيج الكوني؟ في الوقت نفسه الذي كان بنزياس وويلسون يستكشفان هذا الضجيج؛ كان هناك فيزيائيان أمريكيان يعملان بالقرب منهما في جامعة برينستون، وهما بوب دايك (Bob Dicke) وجيم بيبلس (Jim Peebles)، اللذان كانا مهتمين بصفة خاصة بالموجات الميكرويه، وكانا يدرسان اقتراحًا مقدمًا من

چورچ جامو (George Gamow) – الذي كان يومًا ما تلميذًا لألكسندر فريدمان – يقول بأن العالم المبكر لابد أن يكون ساخنًا جدًا وكثيفًا جدًا ومتوهجًا إلى درجة البياض. فكر دايك وبيبلس أننا من المفروض أن نرى هذا التوهج المبكر الآن؛ لأن الضوء القادم من بعض الأجزاء البعيدة جدًا من العالم قد يصلنا الآن، أو هو على وشك الوصول، إلا أن تمدد الكون يعني أن هذا الضوء يجب أن تزاح موجاته إزاحة حمراء كبيرة، إلى درجة أنه قد يظهر لنا الآن على شكل أشعة ميكروية بدلًا من الضوء المرئي. وفي الوقت الذي كان فيه دايك وبيبلس يبحثان عن هذه الأشعة كان بنزياس وويلسون قد تحققا أنهما قد اكتشفاها حقًا. ولهذا فقد حصل بنزياس وويسلون على جائزة نوبل سنة ١٩٧٨ (الأمر الذي بدا صعبًا على دايك وبيبلس وكذلك على جامو).

وللوهلة الأولى فإن كل هذه الدلائل على أن العالم يبدو متماثلًا في جميع الاتجاهات؛ قد تؤدي إلى فكرة أن موقعنا في العالم له ميزة خاصة، وعلى وجه الخصوص قد يبدو أننا في مركز العالم؛ إذا اكتشفنا أن كل المجرات تتحرك مبتعدة عنا. وعلى كل فإن هناك تفسيرًا آخر؛ وهو أن العالم قد يبدو متماثلًا في جميع الاتجاهات بالنسبة لأي مجرة أخرى كذلك، وهذه هي الفرضية الثانية لفريدمان كما سبق أن ذكرنا.

وليس لنا دليل علمي واحد يؤيد هذه الفرضية الثانية لفريدمان أو ينفيها، وكانت الكنيسة منذ قرون مضت تعد هذه الفرضية هرطقة؛ لأن عقيدة الكنيسة تنص على أننا نشغل مكانًا خاصًا في مركز العالم، لكننا نعتقد اليوم بصحة فرضية فريدمان فحسب؛ لسبب غير ذلك تمامًا، وبكل تواضع: كنا سنشعر بميزة عظيمة لو كان العالم يبدو متماثلًا في كل الاتجاهات حولنا فحسب؛ وليس حول أي نقطة أخرى من العالم!.

ووفقًا لنموذج فريدمان فإن كل المجرات تتحرك متباعدة عن بعضها بعضًا، ويشبه هذا الوضع بالونًا مزركشًا بنقاط مرسومة على سطحه، ويجري نفخه بالتدريج، وكلما تمدد البالون تباعدت المسافات بين أي نقطتين على سطحه، وليس هناك نقطة ما يمكن عدها مركزًا لهذا التمدد. وعلاوة على ذلك كلما تزايد قطر البالون بالنفخ أصبحت سرعة تباعد نقطتين تعتمد على المسافة بينهما؛ أي كلما زادت المسافة زادت سرعة التباعد، فلو تضاعف

قطر البالون خلال ثانية واحدة؛ فإن النقطتين اللتين على مسافة سنتيمتر واحد ستصبحان على مسافة سنتيمترين (مقاسة على سطح البالون)، ومن ثم فإن سرعة تباعدهما النسبية هي ١سم/ ثانية. ومن جهة أخرى فإن نقطتين على مسافة ١٠ سنتيمترات ستصبحان على بعد ٢٠ سم، وعندها تكون سرعة تباعدهما النسبية ١٠سم/ ثانية. وبالمثل – ووفقًا لنموذج فريدمان – فإن سرعة تباعد مجرتين عن بعضهما تتناسب مع المسافة بينهما، وهكذا تنبأ فريدمان بأن الإزاحة الحمراء للمجرة يجب أن تتناسب مع بعدها عنا، تمامًا كما وجد هابل بعد ذلك. وعلى الرغم من نجاح نموذج فريدمان وتنبؤاته بما شاهده هابل بعد ذلك؛ فقد ظلت أبحاث فريدمان غير معروفة لدى الأغلبية في العالم الغربي، إلى أن اكتشفت نماذج مشابهة سنة ١٩٣٥، بفضل عالم الفيزياء الأمريكي هوارد روبرتسون (Howard Robertsom) وعالم الرياضيات البريطاني آرثر ووكر (Arthur Walker)، بناء على اكتشاف هابل للتمدد المنتظم للكون.

استنتج فريدمان نموذجًا واحدًا فقط للعالم، ولكن إذا كانت فرضياته صحيحة فلابد أن يكون هناك ثلاثة حلول محتملة لمعادلة أينشتاين؛ أي ثلاثة أنواع لنماذج فريدمان، وثلاث طرائق مختلفة لسلوك العالم.

في النوع الأول من الحلول – الذي وجده فريدمان –: إن العالم يتمدد ببطء كاف إلى الدرجة التي ستجعل قوة الجاذبية بين المجرات قادرة على إبطاء التمدد أكثر فأكثر، حتى يتوقف في النهاية. وستبدأ المجرات عندها في التحرك مقتربة من بعضها بعضًا ليبدأ الكون في الانكماش. أما في النوع الثاني من الحلول فإن العالم يتمدد بسرعة كبيرة إلى درجة أن قوى التجاذب بين المجرات لن توقفه، على الرغم من أنها ستبطئ بعض الشيء من حركته. وأخيرًا ففي النوع الثالث من الحلول يتمدد العالم بسرعة تكفي بالكاد لتجنب الانهيار تحت تأثير الجاذبية، وفي هذه الحالة ستتباطأ سرعة حركة المجرات أكثر فأكثر، ولكنها لن تصل إلى الصفر مطلقًا.



العالم المتمدد كالبالون

نتيجة لتمدد العالم فإن كل المجرات تتحرك متباعدة عن بعضها بعضًا، وبمرور الوقت تبدو المجرات التي تشبه النقاط على سطح بالون منفوخ — وهي تتباعد أسرع كلما كانت أبعد عن بعضها — على عكس المجرات القريبة التي تتباعد بصورة أبطأ من ذلك؛ ومن ثم كلما كانت المجرة أبعد بالنسبة للمشاهد زادت سرعة تباعدها

ومن الصفات المهمة لنموذج فريدمان من النوع الأول أن العالم ليس لانهائي في الفضاء؛ ولكن الفضاء نفسه ليس له حدود. والجاذبية من القوة بحيث تجعل الفضاء ينثني حول نفسه، ويشبه ذلك إلى حد ما سطح الأرض المحدود لكنه بلا حدود، فإذا سافرت في أحد الاتجاهات باستمرار فإنك لن تصل إلى نهاية تعترض مسيرتك وتوقفها، كما أنك لن تسقط من حافة الأرض، وفي النهاية ستعود إلى المكان نفسه الذي بدأت منه. ويشبه الفضاء هذا النموذج إلا أنه ثلاثي الأبعاد (بدلًا من بعدين كما في حالة سطح الأرض). وتصلح فكرة

الدوران حول العالم والعودة إلى حيث بدأت للخيال العلمي؛ لكن ليس لها مغزى عملي؛ لأنه من الممكن إثبات أن الكون سينهار على نفسه، ويصبح حجمه مساويًا للصفر قبل عودتك إلى النقطة نفسها. والكون من الكبر بحيث تحتاج إلى السفر بسرعة أكبر من سرعة الضوء للوصول إلى نقطة البداية قبل نهاية العالم، وهو أمر مستحيل! وفي نموذج فريدمان الثاني يتحدب الفضاء أيضًا؛ ولكن بطريقة مختلفة. والنموذج الثالث لفريدمان فقط هو الذي يقابل عالمًا مسطحًا له مقاييس هندسية عظيمة، (ومع ذلك فالفضاء لا يزال محدبًا أو مشوهًا بالقرب من الأجسام الثقيلة).

أي نموذج منها يصف عالمنا؟ وهل سيتوقف العالم في النهاية عن التمدد ليبدأ في التقلص، أم سيستمر في التمدد إلى ما لا نهاية؟

تبين أن الإجابة عن هذا التساؤل أكثر تعقيدًا مما كان يظن العلماء في البداية، ويعتمد التحليل الأساسي في الأغلب على أمرين: المعدل الحالي لتمدد العالم، ومتوسط كثافته الحالية (كمية المادة في حجم معين من الفضاء). وكلما زاد معدل التمدد الحالي زادت قوة التجاذب المطلوبة لإيقافه عن التمدد، ومن ثم تزداد كثافة المادة المطلوبة لتحقيق ذلك. فإذا كان متوسط الكثافة أكبر من قيمة معينة حرجة (تتحدد بمعرفة معدل التمدد)؛ فإن قوى تجاذب المادة في العالم ستتمكن من إيقاف تمدده، وتجعله ينهار على نفسه؛ الأمر الذي يقابل نموذج فريدمان الأول. أما إذا كان متوسط الكثافة أقل من القيمة الحرجة؛ فلن تقوى قوى الجاذبية على إيقاف تمدده، وعليه فإن العالم سيظل يتمدد إلى الأبد؛ الأمر الذي يقابل نموذج فريدمان الثاني. وفي حالة تساوي كثافة العالم المتوسطة مع القيمة الحرجة تمامًا؛ فإن العالم سيظل يبطئ من تمدده إلى الأبد في طريقه بالتدريج نحو عالم ساكن، لكنه لن يصل إليه أبدا؛ وهو ما يقابل نموذج فريدمان الثالث.

أي هذه النماذج هو الصحيح؟ في استطاعتنا تحديد المعدل الحالي للتمدد بقياس السرعات التي تتباعد بها المجرات الأخرى عنا باستخدام ظاهرة دوبلر، وهو أمر يمكن قياسه بدقة شديدة، غير أنه لا يمكن قياس المسافات بيننا وبين المجرات الأخرى بدقة؛ لأننا نفعل ذلك بطريقة غير مباشرة، وهكذا فإن كل ما نعرفه هو أن العالم يتمدد بمعدل يتراوح بين ٥ و ١٠٪

كل بليون سنة، علمًا بأن درجة عدم التيقن بالنسبة لمتوسط كثافة العالم الحالية أكبر من ذلك، وحتى لو جمعنا كتلة كل النجوم التي يمكن رؤيتها في مجرتنا وفي المجرات الأخرى؛ فإن مجموع هذه الكتل أقل من جزء من المائة من الكتلة المطلوبة لإيقاف تمدد العالم، حتى لو كان التمدد أبطأ ما يمكن.

ولا يزال للقصة بقية، فلابد أن تشتمل مجرتنا والمجرات الأخرى على كميات كبيرة من «مادة داكنة» لا يمكننا رؤيتها مباشرة لكننا نعلم أنها لابد أن تكون هناك بناءً على التأثير الذي تمارسه قوى جاذبيتها على مدارات النجوم في المجرات، وربما يكون أقوى دليل على ذلك هي النجوم التي في حافة المجرات الحلزونية، مثل مجرتنا درب اللبانة، فهذه النجوم تدور حول مجراتها بسرعة أكبر مما لو بقيت تظل في مداراتها تحت تأثير قوى جاذبية النجوم المرئية في المجرات فحسب. وإلى جانب ذلك فإن معظم المجرات تشكل تجمعات؛ الأمر الذي يمكننا من التنبؤ بوجود كثير من المادة الداكنة فيما بين المجرات في هذه التجمعات، وذلك بدراسة تأثيرها في حركة بعضها بعضًا. وفي الواقع فإن كمية المادة الداكنة في الكون تفوق كثيرًا كمية المادة العادية المرئية، فإذا أضفنا كتلة كل هذه المادة الداكنة؛ فإننا نحصل على جزء من عشرة أجزاء فقط من كمية المادة المطلوبة لإيقاف التمدد. وقد يكون هناك أشكال أخرى من المادة الداكنة موزعة على الأغلب بالتساوي عبر العالم، لكننا لم نكتشفها بعد، والتي قد ترفع من متوسط كثافة العالم أكثر وأكثر. فمثلًا هناك نوع من الجسيمات الأولية يطلق عليه نيوترينو (Neutrino) تتداخل بشكل ضعيف جدًا مع المادة ومن الصعب جدًا – بل يكاد يكون من المستحيل – اكتشافها. (تضمنت إحدى التجارب الحديثة لاكتشاف النيوترينو نصب مجس تحت الأرض مملوء بخمسين ألف طن من الماء). كان المعتاد أن نعد النيوترينو بلا كتلة، ومن ثم فليس لها قوة جاذبية، لكن التجارب التي أجريت في السنوات الأخيرة تشير إلى أن للنيوترينو كتلة ضئيلة جدًا، لم يكن من المستطاع تحديدها في السابق. فإذا كان للنيوترينوات كتلة فمن الممكن أن تكون هي أحد أشكال المادة الداكنة. ومع ذلك، وحتى لو أضفنا كتلة النيوترينوات بوصفها مادة داكنة – فيبدو أن مجمل المادة في العالم لا يزال أقل من الكمية المطلوبة لإيقاف تمدده، وهكذا وحتى وقت قريب كان معظم الفيزيائيين على قناعة بأن نموذج فريدمان الثاني هو الصحيح.

وعندئذ ظهرت أمور جديدة، ففي السنوات القليلة الماضية درست فرق عديدة من الباحثين التموجات الدقيقة للخلفية الإشعاعية الميكروية، التي اكتشفها بنزياس وويلسون، ويمكن استخدام حجم هذه التموجات مؤشرًا على هندسة الكون على المستوى الأعظم. ويبدو أنها تشير إلى أن العالم مسطح في النهاية (كما في نموذج فريدمان الثالث)! وحيث إنه يبدو أن كمية المادة والمادة الداكنة لا تكفي لذلك؛ فقد افترض الفيزيائيون وجود مادة أخرى لم تكتشف بعد لتفسير ذلك، ولتكن الطاقة الداكنة.

وحتى تزداد الأمور تعقيدًا؛ فقد بينت المشاهدات الحديثة أن معدل تمدد العالم لا يتباطأ، بل على العكس يسرع مع الزمن. ولا يتفق ذلك أبدًا مع أي نموذج من نماذج فريدمان! وهو شيء في غاية الغرابة؛ إذ إن تأثير المادة في الفضاء — سواء كانت كثافتها عالية أم منخفضة — لابد أن يؤدي إلى تباطؤ التمدد. فالجاذبية في نهاية المطاف هي تجاذب، ويشبه التسارع في تمدد الكون انفجارًا يزداد قوة مع الوقت، وليس ضعفًا بعد حدوث الانفجار. فما هي القوة المسؤولة عن دفع الكون متطايرًا بأجزائه بتسارع؟ لا أحد يعرف بعد؛ لكن قد يكون هذا دليلًا على صحة رأي أينشتاين عن الحاجة إلى ثابت كوني (وتأثيره المضاد للجاذبية) في نهاية المطاف.

ومع التطور السريع للتكنولوجيا الحديثة واستخدام التلسكوبات الفضائية الهائلة؛ فإننا نعرف على وجه السرعة أشياء جديدة ومدهشة باستمرار عن العالم. ونحن على دراية جيدة الآن بسلوك هذا العالم في الفترة الأخيرة، فسيستمر العالم في التمدد بمعدلات متزايدة، وسيستمر الزمن في سريانه إلى الأبد، على الأقل بالنسبة للعقلاء، بدرجة كافية تجعلهم يتجنبون السقوط في ثقب أسود، لكن ماذا عن الأزمنة المبكرة الأولى؟ كيف بدأ العالم، وما الذي دفعه إلى التمدد؟

• ٨ •
الانفجار الكبير والثقوب السوداء وتطور العالم

الزمان - البعد الرابع - مثله مثل المكان محدود في نموذج فريدمان الأول للعالم، وهو يشبه خطًا له نهايتان أو طرفان، وهكذا فللزمن نهاية كما أن له بداية. وفي الواقع تشترك جميع حلول معادلات آينشتاين التي تتضمن كمية المادة المرئية في الكون، في شيء مهم واحد: في لحظة ما من الماضي (منذ نحو ١٣,٧ بليون سنة) لابد أن تكون المسافة بين المجرات المتجاورة مساوية للصفر. وبعبارة أخرى كان العالم محصورًا في نقطة مفردة حجمها صفر مثل كرة نصف قطرها صفر، وفي هذا الوقت كان لابد لكثافة العالم وتحدب الزمكان أن يكونا لانهائيين، وهو الوقت الذي نطلق عليه «الانفجار الكبير» (The Big Bang).

تفترض جميع نظرياتنا عن الكون أن الزمكان مسطح وأملس تقريبًا، ويعني ذلك أن كل نظرياتنا تتحطم عند لحظة الانفجار الكبير؛ فالتحدب اللانهائي للزمكان لايمكن تسميته بمسطح تقريبًا! وهكذا وحتى لو كانت هناك أحداث قد وقعت قبل الانفجار الكبير؛ فلن نستطيع استخدامها لتحديد ما يمكن أن يحدث بعد الانفجار، لأن التنبؤ ذاته سيتحطم منذ لحظة الانفجار الكبير.

وبناء على ذلك – إذا كنا كما هو الحال نعلم فقط ما حدث منذ الانفجار الكبير – فإننا لا نستطيع تحديد ما حدث قبل ذلك، وعلى قدر اهتمامنا فإن الأحداث التي وقعت قبل الانفجار الكبير ليس لها تبعات، ولا يجب أن تشكل أي جزء من النموذج العلمي للكون. وعليه فإننا يجب أن نستبعدها من نموذجنا، وأن نقرر أن الانفجار الكبير هو بداية الزمن، ويعني ذلك أن الأسئلة التي تدور حول من الذي هيأ الظروف لهذا الانفجار الكبير ليست بالأسئلة التي يتناولها العلم.

وإذا كان حجم الكون مساويًا للصفر؛ فإن درجة حرارته لابد أن تساوي مالانهاية. وعند لحظة الانفجار نفسه من المعتقد أن درجة حرارة الكون كانت بلا حدود، ومع تمدد الكون بدأت درجة حرارة الإشعاع في الانخفاض، وحيث إن درجة الحرارة هي ببساطة مقياس لمتوسط طاقة الجسيمات أو سرعتها؛ فإن هذا الانخفاض في درجة حرارة الكون لابد أن يكون له تأثير عظيم فى المادة، فالجسيمات تتحرك بسرعات هائلة في درجات الحرارة المرتفعة إلى درجة أنها تتغلب على أي تجاذب فيما بينها ناتج عن القوى النووية والكهرومغناطيسية، لكن مع انخفاض درجة حرارتها فإنه من المتوقع أن تنجذب هذه الجسيمات إلى بعضها بعضًا لتتجمع، وتعتمد أنواع الجسيمات التي في العالم على درجة الحرارة، ومن ثم فإنها تعتمد على عمر العالم.

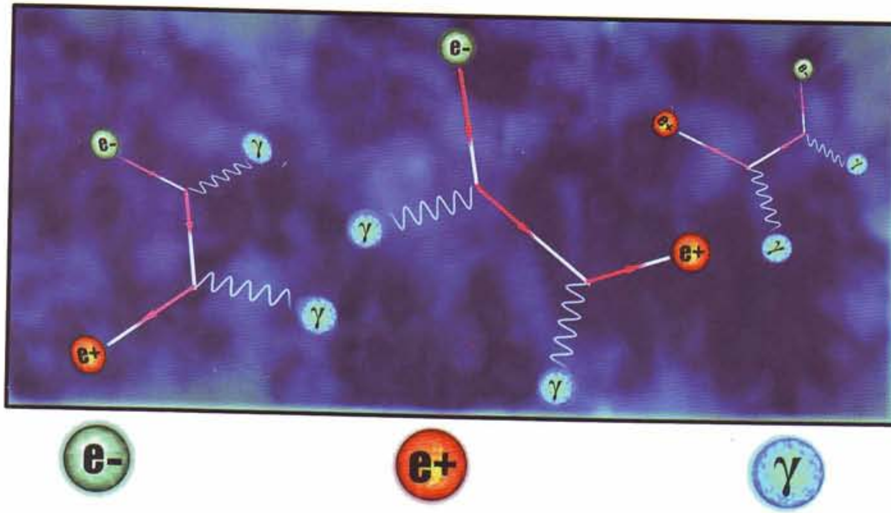
لم يكن أرسطو يعتقد أن المادة مكونة من جسيمات؛ بل كان يعتقد أن المادة وسط مستمر، ووفقًا لاعتقاده فإن أي قطعة من المادة يمكن تقسيمها إلى أجزاء أصغر فأصغر بلا حدود، أي أنه لا توجد حبة من مادة لا يمكن تقسيمها إلى الأصغر. غير أنه كان هناك بعض الإغريق مثل ديموقريطس (Democretus) الذين اعتقدوا أن المادة بطبيعتها تتكون من حبيبات، وأن كل شيء مصنوع من عدد كبير من أنواع مختلفة من الذرات. (كلمة ذرة ـ آتوم Atom ـ تعني بالإغريقية غير قابلة للانقسام). ونحن نعلم اليوم أن هذا شيء حقيقي، على الأقل في ظروفنا وظروف العالم الحالية، غير أن الذرات في عالمنا لم تكن موجودة طول الوقت، ولم تكن غير قابلة للانقسام، وتمثل فقط جزءًا بسيطًا من أنواع الجسيمات في العالم.

وتتكون الذرات من جسيمات أصغر: الكترونات وبروتونات ونيوترونات. وتتكون البروتونات والنيوترونات نفسها من جسيمات أصغر تسمى كواركات (Quarks). وإلى جانب ذلك فإن لكل جسيمة من هذه الجسيمات تحت الذرية جسيمة مضادة، وللجسيمات المضادة الكتلة نفسها التي لقريناتها من الجسيمات؛ لكنها قد تحمل شحنة مضادة، وبعض الخواص المضادة الأخرى. فمثلاً الجسيمة المضادة للإلكترون يطلق عليها بوزيترون (Positron) وشحنته موجبة، ومضادة لشحنة الإلكترون. وقد يكون هناك عوالم مضادة كاملة وأناس مضادون مكونون من جسيمات مضادة، وإذا التقت جسيمة بجسيمتها المضادة فإنهما – يتلاشيان، ولذا إذا التقيت بقرينك المضاد فلا تصافحه؛ لأن كلاكما سيتلاشى في ومضة عظيمة من الضوء!

وتجيء الطاقة الضوئية على شكل نوع آخر من الجسيمات التي ليس لها كتلة، وتسمى فوتون (Photon). وأكبر مصدر لهذه الفوتونات على الأرض هو الفرن النووي المجاور لنا في الشمس، والشمس مصدر هائل لنوع آخر من الجسيمات كذلك سبق ذكرها؛ وهي النيوترينوات (والنيوترينوات المضادة). غير أن هذه الجسيمات التي وزنها في غاية الضآلة تكاد لا تتداخل مع المادة، ولذلك فهي تعبر من خلال أجسامنا من دون أن تترك أي أثر بمعدل يصل إلى البلايين في الثانية الواحدة. ومن المعلوم للجميع أن الفيزيائيين قد اكتشفوا العشرات من هذه الجسيمات الأولية. ومع مرور الزمن وبتطور العالم بطريقة معقدة؛ فإن هذا الكم الهائل من الجسيمات قد تطور هو الآخر، إنه هو نفسه التطور الذي أوجد الكواكب مثل الأرض، وأوجد مخلوقات مثلنا.

وفي خلال ثانية واحدة من الانفجار الكبير؛ ربما يكون العالم قد تمدد بما يكفي لتنخفض درجة حرارته إلى نحو عشرة بلايين درجة سلزية، وهي درجة تفوق درجة حرارة قلب الشمس آلاف المرات، لكنها في مثل درجة حرارة انفجار القنبلة الهيدروجينية. وفي تلك اللحظة كان الكون في الغالب يحتوي على فوتونات وإلكترونات ونيوترينوات، وجسيماتها المضادة مع بعض البروتونات والنيوترونات. وكان لهذه الجسيمات طاقة هائلة، لذلك فإنها عندما تتصادم مع بعضها ينتج عنها جسيمات وجسيمات مضادة عديدة مختلفة. فمثلاً قد يؤدي تصادم الفوتونات إلى نشوء إلكترون وجسيمته المضادة (البوزيترون). وقد تتصادم

بعض هذه الجسيمات مع جسيماتها المضادة، وعندها ستتلاشى. وحيثما التقى إلكترون وبوزيترون فإنهما سيتلاشيان، لكن العكس ليس سهلًا. وحتى تؤدي جسيمتان – ليس لهما كتلة مثل الفوتونات – إلى تكون جسيمة وجسيمتها المضادة مثل إلكترون وبوزيترون؛ لابد أن تملك الجسيمات التي من دون كتلة حدًّا أدنى من الطاقة عند تصادمها. والسبب في ذلك أن الإلكترونات والبوزيترونات لها كتلة؛ ولابد أن تأتي هذه الكتلة الجديدة من طاقة الجسيمات المتصادمة. وباستمرار تمدد الكون، وانخفاض درجة الحرارة فإن الصدمات التي تؤدي إلى نشوء أزواج من الإلكترونات والبوزيترونات ستحدث بمعدل أقل من معدل تلاشيهما إذا تصادما. وهكذا وفي النهاية فإن معظم الإلكترونات والبوزيترونات ستتلاشى بتصادمها معًا، ليتنج مزيد من الفوتونات تاركة القليل من الإلكترونات فقط.



الاتزان بين الفوتون/ الإلكترون/ البوزيترون
في الكون المبكر كان هناك اتزان بين أزواج الإلكترونات والبوزيترونات المتصادمة لتنشأ الفوتونات، وكذلك العملية العكسية. وبانخفاض درجة حرارة العالم أزيح الاتزان لصالح تكوين الفوتونات. وفي النهاية تلاشت معظم الإلكترونات والبوزيترونات من العالم، ولم تترك سوى أعداد ضئيلة نسبيًا من الإلكترونات الموجودة حاليًا

ومن جهة أخرى فإن النيوترينوات وجسيماتها المضادة لا تتداخل مع بعضها أو مع الجسيمات الأخرى إلا بصورة ضعيفة جدًا. ولذلك فهي لا تلاشي بعضها بعضًا بالمعدل نفسه. ولابد أن تظل موجودة حتى اليوم. فإذا استطعنا رصدها فإنها ستزودنا باختبار جيد لصورة من العالم المبكر الساخن جدًا. ولكن لسوء الحظ - وبعد بلايين السنين - أصبحت طاقة هذه الجسيمات من الضآلة إلى درجة أن رصدها المباشر أصبح في غاية الصعوبة (إلا أننا نستطيع أن نفعل ذلك بطريقة غير مباشرة).

بعد لحظة الانفجار الكبير بمائة ثانية كان لابد أن تنخفض درجة الحرارة إلى بليون درجة، وهي درجة حرارة نواة أكثر النجوم سخونة. وعند مثل هذه الدرجة تأخذ قوة تدعى القوى القوية في لعب دور مهم. وهذه القوى القوية (التي سنتعرض لها في الفصل ١١) هي قوة جاذبة قصيرة المدى تجعل البروتونات والنيوترونات ترتبط ببعضها بعضًا مكونة الأنوية. وفي درجات الحرارة المرتفعة بما فيه الكفاية فإن طاقة حركة البروتونات والنيوترونات تكون عالية إلى درجة أنها يمكن أن تهرب من التصادم، وتظل حرة ومستقلة وغير مرتبطة ببعضها. إلا أنه في درجة حرارة بليون درجة لن يكون لها من الطاقة ما يكفي للتغلب على جذب القوى القوية؛ فتبدأ بالارتباط ببعضها لتنتج أنوية ذرات الديوتيريوم (Deuterium) (الهيدروجين الثقيل)، والتي تحتوي على بروتون واحد ونيوترون واحد. ثم تبدأ أنوية الديوتريوم في الاتحاد مع مزيد من البروتونات والنيوترونات؛ لتتكون أنوية الهليوم التي تحتوي على بروتونين ونيوترونين، كما تتكون كميات قليلة من عناصر أثقل هي الليثيوم والبريليوم. ومن نموذج الانفجار الكبير الساخن يمكن التوصل إلى أن نحو ربع البروتونات والنيوترونات قد تحولت إلى أنوية الهليوم، مع كميات قليلة من الهيدروجين الثقيل وبعض العناصر الأخرى. أما بقية النيوترونات فإنها تتحلل إلى بروتونات، التي هي أنوية ذرات الهيدروجين العادي.

وقد اقترح العالم چورچ جامو (George Gamow) صورة للعالم المبكر الساخن في مقال شهير كتبه سنة ١٩٤٨ مع أحد تلاميذه، واسمه رالف آلفير (Ralph Alpher). كان جامو يتمتع بروح الفكاهة؛ لذلك أغرى العالم النووي هانس بيث ليضيف اسمه على هذا المقال لتصبح قائمة المؤلفين آلفير، وبيث، وجامو مثل الحروف الإغريقية الثلاثة الأولى ألفا

وبيتا وجاما، الأمر الذي يناسب بالتحديد مقالًا يتناول البدايات الأولى للكون. وقد سجل في هذا المقال تنبؤات جديرة بالملاحظة؛ منها أن الإشعاع على شكل فوتونات الصادر عن المراحل المبكرة للكون الساخن؛ لابد أن تكون موجودة من حولنا اليوم مع انخفاض درجة الحرارة حتى بضع درجات فوق الصفر المطلق. (الصفر المطلق يساوي – ٢٧٣ درجة مئوية. وهي درجة الحرارة التي عندها لا تحتوي المادة على طاقة حرارية، ولذلك فهي أدنى درجة حرارة ممكنة).

وقد كانت هذه الإشعاعات هي نفسها التي اكتشفها بنزياس وويلسون سنة ١٩٦٥. وفي الوقت الذي ظهر فيه مقال آلفير وبيث وجامو لم يكن يعرف كثيرًا عن التفاعلات النووية بين البروتونات والنيوترونات. لم تكن التنبؤات الموضوعة لنسب العناصر المختلفة في العالم المبكر دقيقة؛ لكن بإعادة حسابات هذه النسب في ضوء معلومات أفضل أصبحت تتفق مع ما نرصده بالفعل. غير أنه في غاية الصعوبة أن نفسر – بأي طريقة أخرى – لماذا أصبحت ربع كتلة العالم على شكل هليوم؟

وهناك مشاكل تتعلق بهذه الصورة، ففي نموذج الانفجار الكبير الساخن لم يكن هناك وقت كاف في العالم المبكر لسريان الحرارة بين المناطق المختلفة. ويعني ذلك أن الحالة البدائية للعالم لابد أن تكون متساوية ومنتظمة في درجة حرارتها في كل مكان، حتى يمكن تفسير حقيقة أن الخلفية الإشعاعية الميكروية لها درجة الحرارة نفسها في كل الاتجاهات. وإلى جانب ذلك فإن معدل التمدد الابتدائي لابد أن يختار بدقة شديدة، حتى يظل معدل التمدد قريبًا من القيمة الحرجة للمعدل اللازم لمنع العالم من الانهيار على نفسه. ومن الصعوبة المفرطة تفسير كيف بدأ العالم بهذا الشكل؛ إلا إذا افترضنا أنها إرادة الرب الذي شاء أن يخلق كائنات مثلنا. وفي محاولة لإيجاد نموذج للكون له هيئات أولية مختلفة، ويمكنها أن تتطور إلى شيء يشبه عالمنا الحالي؛ اقترح عالم من معهد ماسيتشوسيتس للتقانة (MIT)، اسمه آلان جاث (Alan Guth) أن العالم المبكر ربما يكون قد مر بفترة من التمدد السريع جدًا، ويقال لهذا النوع من التمدد إنه تضخمي؛ بمعنى أن العالم قد تمدد في لحظة ما بمعدل متزايد. ووفقًا لجاث فإن نصف قطر العالم قد تضاعف بمعدل مليون مليون مليون مليون مليون (الرقم ١ متبوعًا بـ٣٠ صفرًا من اليمين) مرة في جزء ضئيل من الثانية. وكان لابد

لأي تفاوتات في العالم أن تنمحي نتيجة لمثل هذا التمدد التضخمي، تمامًا مثل ما تنمحي أي تجعدات على سطح بالون عند نفخه. وفي هذه الحالة فإن التضخم يفسر تجانس الكون الحالي وانتظامه، والذي يمكن أن يكون قد نشأ من عدة حالات مختلفة وغير متجانسة في البداية، وهكذا فإننا على يقين بدرجة معقولة بأننا نعرف الصورة الصحيحة، على الأقل بدءًا من جزء من بليون بليون تريليون جزء من الثانية من لحظة الانفجار الكبير (10^{30}) .

وبعد كل هذا الجيشان العظيم في البداية، وبعد بضع ساعات فقط من الانفجار الكبير؛ توقف إنتاج الهليوم وبعض العناصر الأخرى مثل الليثيوم. وبعد ذلك بمليون سنة أو ما يقارب ذلك استمر العالم في التمدد من دون حدوث شيء يذكر. وفي النهاية – وعندما انخفضت درجة الحرارة إلى بضعة آلاف – لم يعد للإلكترونات والأنوية طاقة حركة كافية للتغلب على قوى الجذب الكهرومغناطيسية بينها، وستبدأ في الاتحاد لتكوين ذرات. وسيستمر العالم ككل في التمدد والتبريد؛ إلا أن ذلك سيحدث في مناطق كثافتها أعلى قليلًا من المتوسط، وسيتباطأ هذا التمدد تحت تأثير قوى الجاذبية الإضافية.

كان لابد لهذا التمدد أن يتوقف في بعض المناطق في النهاية؛ لتبدأ في الانهيار على نفسها، وفي أثناء انهيار هذه المناطق على نفسها فإنها ستبدأ في الدوران ببطء تحت تأثير شد جاذبية المادة خارجها. وكلما صغر حجم المناطق المنهارة زادت سرعة دورانها؛ تمامًا مثل لاعب الانزلاق على الجليد، الذي تزيد سرعة دورانه كلما ضم ذراعيه إلى جنبه. وفي النهاية – وعندما تصبح المناطق المنهارة صغيرة بما فيه الكفاية – فإن سرعة دورانها ستكون كافية للاتزان مع قوى التجاذب، وبهذا الشكل تولد المجرات التي لها شكل قرص دوار. أما المناطق التي لم تتمكن من الدوران؛ فإنها تصبح أجسامًا بيضاوية وتسمى المجرات البيضاوية. وفي مثل هذه المجرات تتوقف المناطق عن الانهيار على نفسها بسبب دوران الأجزاء المنفصلة في المجرة حول مركزها بثبات، لكن المجرة نفسها لا تدور بوجه عام.

وبمرور الوقت يبدأ غاز الهيدروجين والهليوم في المجرات في تكوين تجمعات أصغر، على شكل سحب تنهار على نفسها، تحت تأثير جاذبيتها الخاصة. تتقلص هذه التجمعات وتتصادم ذراتها ببعضها بعضًا، فتبدأ درجة حرارتها في الارتفاع حتى تصبح ساخنة بما فيه الكفاية، لتبدأ تفاعلًا نوويًا اندماجيًا وسيحول ذلك مزيدا من الهيدروجين إلى هليوم.

ويشبه هذا التفاعل انفجار قنبلة هيدروجينية، والحرارة الناتجة عنه تجعل النجم يتوهج. وترفع الحرارة المضافة من ضغط الغاز حتى يصبح كافيًا للاتزان مع شد قوى الجاذبية، فيتوقف الغاز بعدها عن التقلص. وهكذا تتجمع سحب الغازات في صورة نجوم مثل شمسنا وتحول الهيدروجين إلى هليوم، وإشعاع الطاقة الناتجة إلى حرارة وضوء. ويشبه الأمر إلى حد ما البالون المنفوخ؛ إذ يتزن ضغط الهواء داخل البالون والذي يحاول جعل البالون يتمدد، مع الشد في المطاط المصنوع منه البالون، والذي يحاول جعل البالون ينكمش.

وما إن تتجمع الغازات على شكل نجوم، فإن هذه النجوم ستظل مستقرة مدة طويلة، إذ تتزن فيها حرارة التفاعلات النووية مع شد الجاذبية. وفي نهاية المطاف سيفقد النجم الهيدروجين الذي يملكه والوقود النووي الآخر. ومن المتناقضات أنه كلما كان وقود النجم أكبر فإنه يفقده بسرعة أكبر. ويرجع ذلك إلى أنه كلما زادت كتلة النجم احتاج إلى حرارة أكثر لتحقيق الاتزان مع شد الجاذبية. وكلما زادت درجة حرارة النجم (أصبح أسخن) زادت سرعة تفاعل الاندماج النووي، واستهلك الوقود بمعدل أسرع. ومن المحتمل أن يكفي الوقود الموجود في شمسنا خمسة بلايين سنة أخرى، لكن النجوم الأثقل ربما تستهلك وقودها في زمن لا يتعدى مائة مليون سنة، أي أقل بكثير من عمر الكون.

وعندما يفقد النجم وقوده فإنه سيبرد وتبدأ الجاذبية في التغلب فيحدث الانكماش. وسيضغط هذا الانكماش الذرات بعضها إلى بعض، مما يسبب تسخين النجم مرة أخرى. وكلما سخن النجم أكثر أخذ يحول الهليوم إلى عناصر أثقل مثل الكربون والأكسجين، غير أن ذلك لن يطلق طاقة أكثر مما يتسبب في أزمة، وليس واضحًا تمامًا ما يحدث بعد ذلك؛ لكن يبدو من المحتمل أن تنهار المناطق المركزية في النجم على نفسها، لتتحول إلى حالة في غاية الكثافة مثل ثقب أسود، ومصطلح الثقب الأسود قد اشتق حديثًا جدًا، فقد صكه عام ١٩٦٩ العالم الأمريكي جون ويلر (John Wheeler)، ليصف به فكرة قديمة عمرها مائتي عام، عندما كان هناك نظريتان للضوء: الأولى كان يفضلها نيوتن؛ وتنص على أن الضوء يتكون من جسيمات، أما الثانية فكانت تنص على أن الضوء يتكون من موجات. ونحن نعرف اليوم أن النظريتين صحيحتان بالفعل. وكما سنرى في الفصل التاسع؛ فإنه تبعًا لازدواجية الموجة/ الجسيمة في ميكانيكا الكم فإنه يمكن عدُّ الضوء موجة وجسيمة في

الوقت نفسه، ومفهوم موجة وجسيمة من ابتداع الإنسان؛ وليس على الطبيعة أن تفعل ما يحبه الإنسان، فتجعل جميع الظواهر تتجمع في فئة واحدة أو أخرى.

ووفقًا للنظرية التي تقول بأن الضوء موجات فليس واضحًا لماذا يتأثر بالجاذبية. ولكن إذا افترضنا أن الضوء جسيمات فإننا نتوقع أن تتأثر هذه الجسيمات بالجاذبية بالطريقة نفسها التي تتأثر بها قذائف المدافع أو الصواريخ. وبالتحديد إذا أطلقت قذيفة مدفع إلى أعلى من سطح الأرض - أو من نجم - مثل الصاروخ في الصورة، فإنه في نهاية المطاف سيتوقف ويبدأ بالسقوط، إلا إذا كانت سرعة انطلاقه أكبر من قيمة معينة. وتسمى هذه السرعة الدنيا بسرعة الهروب، وتعتمد سرعة الهروب من نجم على شدة الجاذبية؛ فكلما كان النجم كثيفًا زادت سرعة الهروب منه. كان الناس يعتقدون أن جسيمات الضوء تتحرك بسرعة لانهائية، مما يعني أن الجاذبية غير قادرة على إبطائها؛ لكن باكتشاف رومر أن للضوء سرعة محددة فإن ذلك يعني أن للجاذبية تأثير مهم فيه: فإذا كان النجم كثيفًا بما فيه الكفاية فإن سرعة الضوء يمكن أن تكون أقل من سرعة الهروب من النجم، وأن كل الضوء الصادر عنه سيسقط عائدًا إليه مرة ثانية. وبهذا الافتراض نشر دون كمبريدج چون ميتشيل (Cambridge don. John Michell) مقالة سنة ١٧٨٣ في المحاضر الفلسفية للجمعية الملكية بلندن (Philosophical Transactions of the Royal Society) جاء فيه أن نجمًا له كتلة كبيرة متماسكة بما يكفي قد يكون له مجال جاذبية من القوة بحيث يمسك الضوء عن الهروب: فأي ضوء يمكن أن يشعه النجم من سطحه سيسحب إلى الخلف مرة ثانية بفضل شد الجاذبية قبل أن يتمكن من الهروب بعيدًا. وتسمى مثل هذه الأجسام الآن بالثقوب السوداء؛ لأنها كذلك: أماكن سوداء لا ترى في الفضاء (Voids).

كان العالم الفرنسي الماركيز دي لابلاس (Marquis de Lapalce) قد اقترح اقتراحًا مماثلًا بعد بضع سنوات، وفيما يبدو أنه لم يطلع على اقتراح ميتشيل. ومن المثير للانتباه أن لابلاس ضمن هذا الاقتراح في الطبعتين الأولى والثانية من كتابه «منظومة العالم» (The System of the World)، لكنه أغفل ذلك في الطبعات التي تلت ذلك. ربما يكون لابلاس قد ظن أنها فكرة مجنونة (نظرية الجسيمات للضوء) وأنها لم تكن هي المفضلة خلال القرن التاسع عشر؛ لأنه بدا أن كل شيء يمكن تفسيره بنظرية الموجات. وفي الواقع ليس

مناسبًا أن نتعامل مع الضوء مثل قذائف المدفع في نظرية نيوتن للجاذبية؛ لأن سرعة الضوء ثابتة. أما قذائف المدفع التي تطلق إلى أعلى من سطح الأرض فإن سرعتها تتباطأ بفعل الجاذبية لتتوقف في النهاية، ثم تسقط عائدة إلى الأرض، لكن الفوتون سيظل منطلقًا إلى أعلى بسرعة ثابتة. و لم نحصل على نظرية مناسبة عن كيفية تأثير الجاذبية في الضوء، حتى اقترح أينشتاين النسبية العامة سنة ١٩١٥، وحلت معضلة فهم ما يحدث لنجم كبير الكتلة وفقًا للنسبية العامة بفضل شاب أمريكي هو روبرت أوبنهايمر (Robert Oppenheimer) سنة ١٩٣٩.



قذائف المدفع أقل من سرعة الهروب وأعلى منها
ما هو مقدر له أن يعلو لا يهبط إلى أسفل إذا ما أطلق إلى أعلى
بسرعة أكبر من سرعة الهروب

والصورة التي لدينا الآن من أعمال أوبنهايمر هي: ويغير مجال جاذبية النجم من مسارات أشعة الضوء في الزمكان عن الطريق الذي كانت ستسلكه لو لم يكن النجم في موقعه.

وهذا هو التأثير الذي نشاهده نتيجة انحناء الضوء القادم من نجوم بعيدة في أثناء كسوف الشمس، فتنحني مسارات الضوء قليلًا إلى الداخل في الزمكان بالقرب من سطح النجم، وبتقلص النجم يصبح أكثر كثافة، ومن ثم يصبح مجال الجاذبية على سطحه أقوى. (يمكن تخيل مجال الجاذبية وكأنه صادر من نقطة في مركز النجم؛ وكلما تقلص النجم أكثر اقتربت المواقع التي على سطحه أكثر من المركز، ولذا فهي تشعر بمجال جاذبية أقوى). ويؤثر المجال الأقوى في مسارات الضوء بالقرب من السطح، فيميل إلى الانحناء إلى الداخل أكثر. وفي نهاية المطاف- وعندما ينكمش النجم ليصبح نصف قطره قيمة حرجة معينة - يصبح مجال جاذبيته على السطح من القوة، إلى درجة أن مسارات الضوء تنحني لتسقط داخله، ولا تتمكن من الهروب مرة أخرى.

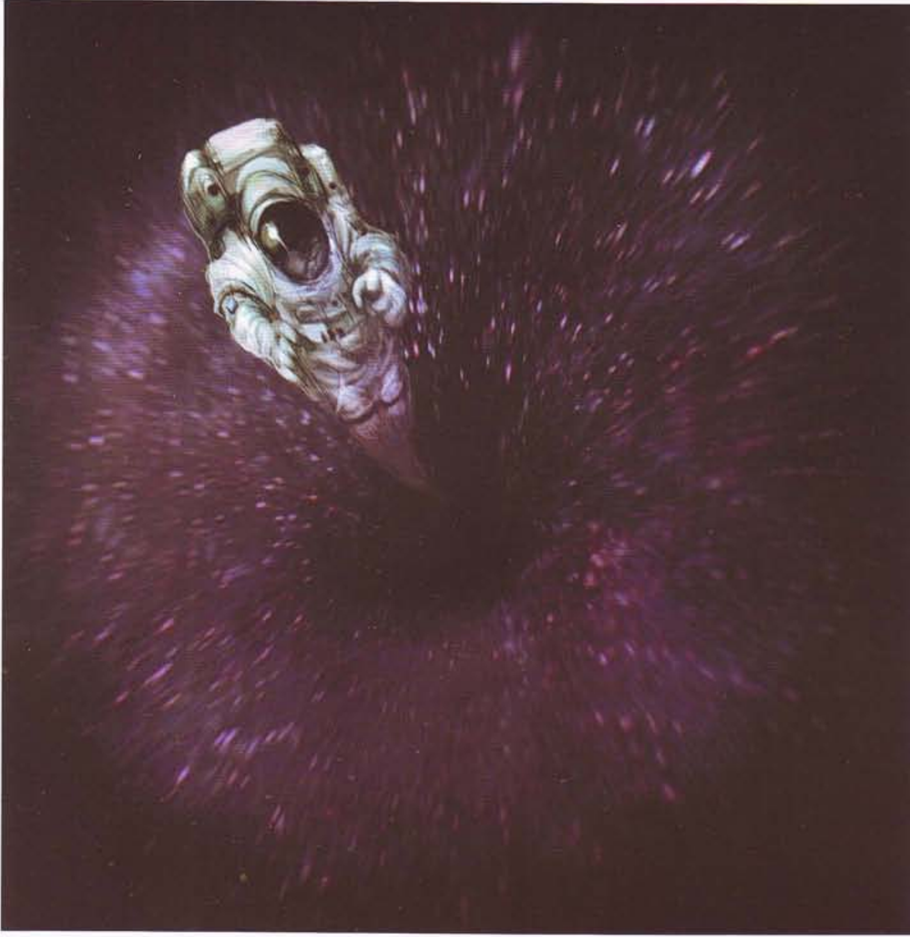
ووفقًا لنظرية النسبية لا يمكن لأي شيء أن يتحرك أسرع من الضوء، فإذا لم يتمكن الضوء من الهروب فلا شيء آخر يستطيع ذلك. وعليه فإن كل شيء سيسحبه مجال جاذبية النجم إلى الداخل. ويكون النجم المنهار على نفسه منطقة في الزمكان من حوله، لا يمكن للضوء الهروب منها ليصل إلى أي مشاهد على البعد. وهذه المنطقة هي ثقب أسود، وتسمى الحافة الخارجية للثقب الأسود بأفق الحدث. واليوم يرجع الفضل إلى التلسكوب الفضائي هابل، والتلسكوبات التي تركز على الأشعة السينية (X) وأشعة جاما، بدلًا من التركيز على الضوء المرئي، في إدراكنا أن الثقوب السوداء ظاهرة شائعة في الكون، وهي شائعة أكثر مما كان يظن الناس من قبل. وقد اكتشف أحد الأقمار الصناعية ١٥٠٠ ثقبًا أسودًا في منطقة صغيرة من السماء، كما أننا قد اكتشفنا ثقبًا أسودًا في مركز مجرتنا، له كتلة تعادل مليون كتلة الشمس، ويدور حول هذا الثقب الأسود فائق الكتلة نجم بسرعة هائلة تصل إلى ٢٪ من سرعة الضوء، وهي سرعة تفوق متوسط سرعة دوران الإلكترون حول النواة في الذرة!.

وحتى نفهم ما نشاهده عندما ينهار نجم كثيف على نفسه مكونًا ثقب أسود؛ فمن الضروري أن نتذكر أنه ليس هناك زمن مطلق في النظرية النسبية. وبعبارة أخرى؛ فإن لكل مشاهد مقياسه الخاص للزمن. فمرور الزمن بالنسبة لشخص ما على سطح النجم سيكون مختلفًا عن شخص على مسافة من النجم؛ لأن مجال الجاذبية أقوى على سطح النجم.

ولنفترض أن رائد فضاء جسور يقف على سطح نجم في أثناء انهياره على نفسه، ويظل واقفًا على السطح طوال فترة الانهيار إلى الداخل، وعند لحظة معينة – ولتكن الساعة الحادية عشرة – كان النجم قد تقلص تحت القيمة الحرجة، التي عندها يصبح مجال جاذبيته من القوة بحيث لا يهرب منه أي شيء. ولنفترض أن رائد الفضاء لديه تعليمات بإرسال إشارة كل ثانية، وفقًا لساعته إلى السفينة الفضائية في الأعلى، والتي تدور على مسافة ثابتة من مركز النجم،. يبدأ رائد الفضاء بإرسال الإشارة عند الساعة ١٠,٥٩,٥٨ أي قبل الحادية عشرة بثانيتين. فما الذي سيسجله رفاقه على سفينة الفضاء؟

سبق أن تعلمنا من تجاربنا الذهنية السابقة على سطح سفينة صاروخية أن الجاذبية تبطئ من الزمن، وكلما زادت الجاذبية زاد هذا التباطؤ، ورائد الفضاء على سطح النجم في مجال جاذبية أقوى من رفاقه في سفينة الفضاء، الذين يدورون حول النجم، لذلك ستكون ثانية واحدة على ساعته أكبر من ثانية على ساعات رفاقه. وحيث إنه يمتطي عملية انهيار النجم على نفسه إلى الداخل؛ فإن مجال الجاذبية سيزداد بقوة أكثر، وستصبح الفترات بين إشاراته أطول وأطول بالنسبة لرفاقه في سفينة الفضاء، وسيكون تمدد الزمن صغيرا جدًا قبل الساعة ١٠,٥٩,٥٩، ولذلك فإن على رفاقه الذين يدورون حول النجم الانتظار إلى الأبد لتلقي إشارة الساعة الحادية عشرة بالضبط.

وسيتمدد كل شيء يحدث على سطح النجم بين الساعة ١٠,٥٩,٥٩ والحادية عشرة بالضبط (بالنسبة لساعة رائد الفضاء الواقف على سطح النجم) إلى مدة لا نهائية من الزمن، كما ستشاهده سفينة الفضاء. وعند الاقتراب من الساعة الحادية عشرة؛ فإن الفترة الزمنية بين وصول قمم وقيعان موجات أي ضوء من النجم ستزداد طولاً؛ كل مرة، تمامًا مثل الفترات بين الإشارات المتتالية القادمة من رائد الفضاء الذي على سطح النجم. وبما أن تردد الضوء هو مقياس لعدد القمم والقيعان في الثانية؛ فإن تردد الضوء القادم من النجم سيقل بالتدريج بالنسبة لمن هم على ظهر السفينة. بمعنى أن الضوء سيبدو أكثر احمرارًا مع الوقت (وأكثر شحوبًا مع الوقت). وفي النهاية سيصبح النجم معتمًا إلى درجة لا يمكن معها رؤيته من سفينة الفضاء، وسيستمر النجم في ممارسة قوة الجاذبية نفسها على سفينة الفضاء التي ستستمر في الدوران من حوله.



القوى الكلية
بما إن الجاذبية تضعف بزيادة المسافة؛ فإن الأرض تجذب رأسك بقوة أقل من تلك
التي تجذب بها قدميك اللتين هما أقرب بمقدار متر، أو نحو ذلك من مركز الأرض.
والفرق هنا من الضآلة بحيث لا نشعر به؛ لكن رائد الفضاء القريب
من سطح ثقب أسود سيتمزق إربًا بمعنى الكلمة

وليس هذا السيناريو واقعيًا أبدًا بسبب المشكلة التالية، تضعف الجاذبية كلما ابتعدنا عن النجم؛ ولذا فإن قوى الجاذبية الواقعة على قدمي رائد الفضاء الجسور ستكون دائمًا أكبر

من قوى الجاذبية الواقعة على ذراعيه، وسيتسبب هذا الاختلاف في تمدده ليصبح مثل عود المكرونة الاسباجيتي، أو ستمزقه إربًا قبل أن ينكمش النجم إلى نصف قطره الحرج الذي يتكون عنده أفق الحدث! غير أننا نظن أن هناك أجسامًا أخرى أكبر كثيرًا في الكون؛ مثل المناطق المركزية في المجرات والتي يحدث لها انهيار تحت تأثير الجاذبية، لينتج عنه ثقوب سوداء مثل الثقب الأسود فائق الكتلة الذي في مركز مجرتنا. ولن يتمزق رائد الفضاء على أي من هذه المناطق قبل تكون الثقب الأسود، ولن يشعر بأي شيء غريب في الواقع عند اقترابه من نصف القطر الحرج، وقد يعبر نقطة اللاعودة من دون أن يشعر بذلك، مع أنه بالنسبة للمشاهدين من الخارج فإن إشاراته ستتباعد أكثر فأكثر لتتوقف في النهاية. وفي غضون ساعات قليلة (مقاسة بساعة رائد الفضاء)، وبينما تستمر المنطقة في الانهيار على نفسها؛ فإن الفرق بين قوى الجاذبية على ذراعيه وقدميه سيصبح من القوة بحيث يمزقه مرة أخرى.

وفي بعض الأحيان – وفي أثناء انهيار نجم شديد الكثافة على نفسه – قد تقذف المناطق الخارجية من النجم بعيدًا بفعل انفجار مهول يسمى مستعرًا أعظم (Supernova)، وانفجار المستعر الأعظم المهول من الشدة إلى درجة أنه يبعث ضوء أكثر من كل النجوم الأخرى في مجرته مجتمعة (نحو مائة بليون نجم)(*) وأحد الأمثلة على ذلك المستعر الأعظم الذي لا تزال بقاياه ترى على شكل سديم السرطان، وقد سجل الصينيون حدوث هذا المستعر الأعظم سنة ١٠٥٤، ومع أن النجم الذي انفجر كان على بعد خمسة آلاف سنة ضوئية؛ إلا أنه كان يشاهد بالعين المجردة على مدى عدة شهور، وكان من اللمعان إلى درجة أنه كان يرى نهارًا، ويمكن القراءة على ضوئه ليلًا. ولو كان المستعر الأعظم على مسافة خمسمائة سنة ضوئية فقط - أي عُشْر مسافة المستعر الأعظم السابق - لكان أكثر لمعانًا من الأول بمقدار مائة مرة، وكان سيحول الليل إلى نهار بمعنى الكلمة. وحتى نستوعب مدى عنف هذا الانفجار؛ فلك أن تتخيل أن الضوء الصادر عنه يطغى على ضوء الشمس، على الرغم من أنه يبعد عشرات الملايين من المرات أكثر من الشمس عنا. (وللتذكرة فإن الشمس تقع على بعد ثمان دقائق ضوئية عنا). وإذا حدث مستعر أعظم قريب منا بما يكفي؛ فإنه سيبقي على الأرض كما هي، لكنه سيصدر من الإشعاع ما يكفي لفناء كل شيء حي. وبالفعل هناك رأي حديث يقول: إن موت الكائنات البحرية الذي وقع على مفرق حقبتي البلايستوسين والبلايوسين، منذ نحو مليوني سنه مضت؛ كان سببه إشعاعات كونية من مستعر أعظم، وقع في تجمع للنجوم

(*) المترجمان

قريب يطلق عليه تجمع سنتاوراس العقرب (Scorpius Centaurus Association). ويعتقد العلماء أن الحياة المتطورة تنشأ على الأرجح في مناطق من المجرات حيث ليس هناك كثير من النجوم «مناطق الحياة»؛ لأنه في المناطق كثيفة النجوم ستكون ظاهرة المستعرات العظمى أكثر شيوعًا لتسحق بانتظام، أي بدايات تطورية للحياة. وفي المتوسط تنفجر مئات الآلاف من المستعرات العظمى كل يوم في مكان ما من الكون، وتحدث المستعرات العظمى في كل مجرة مرة كل قرن تقريبًا من الزمان، وهذا هو متوسط الحدوث فقط، ولسوء الحظ ـ على الأقل بالنسبة للفلكيين ـ أن آخر مستعر أعظم رصد في مجرتنا درب اللبانة قد وقع سنة ١٦٠٤ قبل اكتشاف التلسكوب.

وأقرب احتمال لحدوث مستعر أعظم في مجرتنا هو النجم المسمى Rho Cassiopeiae، ولحسن الحظ أن الأمر سيكون آمنًا بالنسبة لنا، إذ يقع هذا النجم على بعد عشرة آلاف سنة ضوئية منا، وهو ينتمي إلى فصيل معين من النجوم يسمى العمالقة الصفراء الفائقة (Yellow Hypergiants)، وهو واحد من سبعة نجوم فقط تحمل هذا الاسم، وقد بدأ فريق دولي من الفلكيين في دراسة هذا النجم في سنة ١٩٩٣، وفي السنوات القليلة التي تلت ذلك لاحظوا أنه يمر بفترات تقلب في درجة حرارته في حدود بضع مئات من الدرجات، وفجأة في صيف سنة ٢٠٠٠ هبطت درجة حرارته من سبعة آلاف إلى أربعة آلاف درجة سلزية. وقد اكتشف الفريق كذلك في هذه الأثناء وجود أكسيد التيتانيوم في الغلاف الجوي للنجم، الأمر الذي أرجعوه إلى تعرض الطبقة الخارجية في النجم إلى موجة تصادمية هائلة قذفت بمحتوياتها إلى الخارج.

وفي انفجار المستعرات العظمى تعود بعض العناصر الثقيلة المتكونة قرب نهاية حياة النجم إلى داخل المجرة، لتزود الجيل التالي من النجوم بالمادة الخام، وتحتوي شمسنا على نحو ٢٪ من هذه العناصر الثقيلة. وهي الجيل الثاني أو الثالث من النجوم تكونت منذ نحو خمسة بلايين سنة مضت، من سحابة غازية دوارة تحتوي على شظايا مستعرات عظمى سابقة. وقد استخدمت معظم الغازات في هذه السحب لتكوين الشمس أو أنها قذفت بعيدًا، إلا أن كميات قليلة من العناصر الثقيلة قد تجمعت معًا، لتكون الأجسام التي تدور اليوم حول الشمس، مثل الكواكب كالأرض، وليس الذهب الموجود في مجوهراتنا واليورانيوم

في المفاعلات النووية؛ إلا بقايا تلك المستعرات العظمى التي وقعت قبل ولادة المجموعة الشمسية!.

وعندما تكثفت الأرض حديثًا كانت ساخنة و لم يكن لها غلاف جوي، وبمرور الزمن بردت واكتسبت غلافًا جويًا من انبعاث الغازات من الصخور، لم يكن الغلاف الجوي المبكر قادرًا على الحفاظ على حياتنا، فلم يكن يحتوي على الأكسجين؛ لكنه كان يحتوي على كثير من غازات أخرى سامة بالنسبة لنا، مثل كبريتيد الهيدروجين (الغاز الذي يعطي رائحة البيض الفاسد). ومع هذا فإن هناك صورًا بدائية أخرى من الحياة قادرة على العيش والازدهار تحت مثل هذه الظروف، ومن المعتقد أنها قد تطورت في المحيطات كنتيجة محتملة لفرص اتحاد الذرات في بنى كبيرة، تسمى الجزئيات الكبرى (Macromolecule)، والتي كان لها المقدرة على صياغة وترتيب ذرات أخرى من المحيط وترتيبها في بنى مثيلة، وهكذا فإنها كانت تتكاثر وتتضاعف بإعادة إنتاج نفسها. وتقع في بعض الحالات أخطاء أثناء التكاثر، وعلى الأغلب فإن هذه الأخطاء ستكون معوقة للجزئيات؛ إذ لا تستطيع الجزئيات الكبرى الناتجة التكاثر، وفي النهاية ستندمر. غير أن القليل من هذه الأخطاء قد تنتج جزئيات كبرى أفضل من سابقتها في التكاثر وإنتاج مثيلاتها. ولذلك فسيكون لها ميزة تجعلها تحل محل الجزئيات الكبرى الأصلية. وهكذا وبهذه الطريقة بدأت عملية التطور، التي أدت إلى نشوء كائنات أكثر تعقيدًا وتطورًا ومقدرة على التكاثر. كانت الصور البدائية للحياة تستهلك مواد مختلفة بما في ذلك كبريتيد الهيدروجين وتطلق الأكسجين. غيرت هذه العملية الغلاف الجوي تدريجيًا إلى التركيب الذي هو عليه الآن، ومن ثم سمحت بتطور أشكال أرقى من الحياة، مثل الأسماك والزواحف والثدييات، وفي النهاية الجنس البشري.

شهد القرن العشرون تغير وجهة نظرنا عن العالم؛ فقد أدركنا ضآلة كوكبنا في هذا العالم الفسيح، واكتشفنا أن الزمان والمكان محدبان، ولا ينفصلان عن بعضهما، وأن الكون يتمدد وله بداية في الزمان.

فصورة الكون الذي بدأ ساخنًا جدًا، ثم أخذ يبرد كلما تمدد، كانت مبنية على نظرية الجاذبية لأينشتاين، النسبية العامة. وكون ذلك يتفق مع كل الأدلة المرئية التي نلاحظها هذه

الأيام لهو نصر كبير لهذه النظرية. ومع ذلك، فلأن الرياضيات في الواقع غير قادرة على التعامل مع الأعداد اللا نهائية، ولأن العالم قد بدأ مع لحظة الانفجار الكبير، أي اللحظة التي كانت عندها كثافة الكون وتحدب الزمكان لا نهائيين؛ فإن نظرية النسبية العامة تتنبأ بأن هناك لحظة في الكون عندها ستنهار النظرية نفسها أو تخفق، ويسمي علماء الرياضيات مثل هذه اللحظة التفرد (Sigularity). وعندما تتنبأ نظرية بحالة التفرد مثل الكثافة والتحدب اللا نهائيين؛ فإن في ذلك إشارة إلى وجوب تعديل النظرية بطريقة ما. والنسبية العامة نظرية غير كاملة؛ لأنها لا تستطيع أن تدلنا على كيفية بداية الكون.

وإلى جانب النسبية العامة؛ فإن القرن العشرين قد أفرز نظرية جزئية عظيمة أخرى للطبيعة، وهي ميكانيكا الكم، وتتناول هذه النظرية الظواهر التي تحدث على المستويات الصغرى جدًا. وتتنبأ صورة الانفجار الكبير التي نعرفها؛ أنه لابد من مرور لحظة في الكون المبكر جدًا كان الكون عندها صغيرًا إلى الدرجة التي تجعلنا لا نهمل التأثيرات في المستوى الصغير لميكانيكا الكم، في أثناء دراستنا لبنيته على المستوى الأكبر. وسنرى في الفصل القادم أن أملنا الأكبر في التوصل إلى الفهم التام للكون من البداية إلى النهاية؛ يأتي من ربط هاتين النظريتين الجزئيتين في نظرية كم واحدة للجاذبية، تنطبق فيها القوانين العلمية العادية على كل شيء، بما في ذلك بداية الزمن من دون الحاجة إلى أي استثناء.

• ٩ •

الجاذبية الكمية

دفع نجاح النظريات العامة – وبصفة خاصة نظرية الجاذبية لنيوتن – بالمركيز دي لابلاس (Marquis de Lapalce) في بداية القرن التاسع عشر إلى القول بأن العالم محدد تمامًا. وأعتقد لابلاس في ذلك الوقت أنه لابد من وجود مجموعة من القوانين العلمية التي تسمح ـ ولو من حيث المبدأ ـ أن نتنبأ بكل ما يحدث حولنا في العالم، وكل ما تحتاجه هذه القوانين هو معرفة الحالة التي يكون عليها الكون في أي وقت بدقة، وهذا ما يسمى بالظروف الابتدائية أو الحالة الحدودية: (كلمة الحد قد تعني الزمان أو المكان، وحالة الحد في الفضاء وهي حالة الكون عند حدوده إذا كان له حدود)، كما اعتقد أنه يمكننا حساب الحالة الشاملة للعالم في أي وقت معتمدًا على مجموعة متكاملة من القوانين والحالة الحدودية المناسبة.

وربما تكون الحدود الابتدائية واضحة حسيًا، إذ إن الظروف المختلفة لكوننا في الوقت الحالي ستؤدي بالطبع إلى ظروف مختلفة في المستقبل بالتأكيد، وقد تكون الحاجة إلى الظروف الحدودية في الفضاء أكثر دقة إلا أن المبدأ واحد في الحالتين. وقد تكون للمعادلات التي بنيت عليها النظريات العلمية حدود مختلفة، وكذلك لابد أن نعرف أي الظروف الابتدائية أو الحدود التي نعتمد عليها. ويشبه ذلك القول إنه إذا كان لك حساب في بنك تودع فيه، وتسحب منه كميات ضخمة من الأموال؛ فأن تصبح مفلسًا أو ثريًا لا يعتمد على كمية ما

يسحب أو يودع فحسب؛ بل يعتمد كذلك على المبلغ الذي فتحت به الحساب.

فإذا كان لابلاس على حق؛ فإنه – وبالاستعانة بحالة العالم الآن – يجب أن تدلنا تلك القوانين على حالة العالم في المستقبل وفي الماضي. فعلى سبيل المثال عندما نعرف مكان الشمس والكواكب يمكن باستخدام قوانين نيوتن أن نحسب حالة المجموعة الشمسية عند أي لحظة سابقة أو قادمة. والقدرية واضحة تمامًا في حالة الكواكب، فالفلكيون يتنبؤون بدقة متناهية بظاهرتي الكسوف والخسوف. غير أن لابلاس ذهب أبعد من ذلك؛ إذ افترض وجود قوانين مشابهة لكل شيء آخر حتى السلوك البشري.

هل من الممكن حقيقة أن يتمكن العلماء من حساب كل تصرفاتنا في المستقبل؟ فقدح من الماء يحتوي على أكثر من 10^{24} جزيء (العدد ١ متبوعًا بأربعة وعشرين صفرًا من اليمين). وفي الواقع لا يمكن إطلاقًا أن نعرف حالة كل جزيء من هذه الجزئيات، فما بالك بالحالة الشاملة للكون أو حتى حالة أجسامنا. وإلى جانب ذلك، إذا سلمنا بقدرية العالم؛ فإن هذا يعني أنه لو لم يكن لدينا القدرة العقلية لأداء هذه الحسابات فإن مستقبلنا محدد من قبل، ولن نتمكن من تغييره.

خالف كثير من العلماء بشدة هذه المعتقدات؛ إذ شعروا أنها تخالف الحرية الإلهية في تسيير الكون كما يراه مناسبًا، لكن ظلت هذه العقيدة سائدة حتى السنوات الأولى من القرن العشرين، وكان أول من اعتقد أنه لابد من التخلي عن هذه العقيدة العالمان البريطانيان لورد رايلي Lord Rayleigh وسير جيمس جينز Sir James Jeans، إذ حسبا كمية إشعاع الجسم الأسود الصادر عن جسم ساخن مثل النجم الذي لابد أن يشع. (كما ذكرنا في الفصل السابع، إذ تعطي أي مادة ساخنة ما يسمى بإشعاع الجسم الأسود).

ووفقًا للقوانين التي كنا نعرفها في ذلك الوقت؛ فإن أي جسم ساخن لابد أن يعطي موجات كهرومغناطيسية متساوية عند كل الترددات، فإذا كان ذلك صحيحًا فإنه سيعطي إشعاعًا متساويًا في كمية الطاقة عند كل لون من ألوان الطيف، سواء في الجزء المرئي أم كل الترددات الأخرى، مثل الموجات الميكروية وموجات الراديو والأشعة السينية (X)

وهكذا. وإذا استرجعنا تعريف تردد الموجة بأنه عدد مرات تذبذب الموجات إلى أعلى وإلى أسفل أو عدد الموجات في الثانية، ورياضيًا لكي يعطي جسم ساخن موجات متساوية عند كل الترددات؛ فإن ذلك يعني أن هذا الجسم الساخن سيعطي كمية الطاقة نفسها في الثانية الواحدة للموجات ذات التردد ما بين صفر ومليون، كتلك ما بين مليون ومليونين لكل ثانية، وكذلك كتلك ما بين مليونين وثلاثة ملايين، وهكذا إلى ما لا نهاية. أي أنه يمكن القول: إن وحدة من الطاقة تشع لموجات تردداتها بين صفر ومليون؛ هي نفسها التي تشع لموجات تردداتها بين مليون ومليونين في الثانية، وهكذا. وتصبح الطاقة الكلية المشعة عند كل الترددات هي ١+١+١+ ... إلى ما لا نهاية. وحيث إن عدد الموجات في الثانية الواحدة غير محدد؛ فإن المجموع الكلي للطاقة يصبح ما لا نهاية، وطبقًا لهذا المنطق فإن الطاقة الكلية المشعة تصبح لانهائية.



أكثر الأضواء خفوتًا
الضوء الخافت يعني وجود فوتونات أقل، والضوء الأكثر خفوتًا لأي لون
هو الضوء الذي يحمله فوتون واحد

ولتجنب هذه النتيجة غير المعقولة اقترح العالم الألماني ماكس بلانك Max Blanck سنة ١٩٠٠: أن موجات الضوء والأشعة السينية (X) والموجات الكهرومغناطيسية تنبعث في حزم محددة معينة تسمى الكم (كوانتا Quanta). ويسمى كم الضوء اليوم - كما ذكر في الفصل الثامن - الفوتون، وكلما زاد تردد الضوء زاد محتوى الطاقة. ولذلك - وعلى الرغم من أن فوتونات أي لون أو تردد معين تكون متطابقة - فإن نظرية بلانك تنص على أن الفوتونات ذات الترددات المختلفة تختلف من حيث كمية الطاقة التي تحملها، ويعني ذلك تبعًا لنظرية الكون أن أكثر الأضواء خفوتًا في أي لون - الضوء المحمول لكل فوتون واحد - له محتوى طاقة يعتمد على لونه. فعلى سبيل المثال بما أن للضوء البنفسجي ترددًا ضعف تردد اللون الأحمر؛ فإن كمًا واحدًا من الضوء البنفسجي له طاقة ضعف كم واحد من اللون الأحمر، وهكذا فإن أقل كمية محتملة من الطاقة من الضوء البنفسجي تكون ضعف أقل كمية محتملة من طاقة الضوء الأحمر.

كيف يعالج هذا التفسير مشكلة الجسم الأسود؟ إن أقل كمية طاقة كهرومغناطيسية يمكن أن يشعها جسم أسود لأي تردد هي فوتون واحد لهذا التردد، وتصبح طاقة الفوتون أكبر عند الترددات الأعلى، ولذلك فإن أقل كمية من الطاقة يمكن أن يشعها جسم أسود تصبح أكثر كلما زاد التردد، وعند ترددات عالية بما فيه الكفاية فإن طاقة كم واحد قد تفوق ما هو متاح للجسم كله، وفي هذه الحالة لن يحدث إشعاع للضوء، مما ينهي ما ذكر سابقًا عن المجموع اللانهائي للطاقة؛ وعليه ففي نظرية بلانك يختزل إشعاع الترددات العالية، ويصبح معدل فقد الجسم للطاقة محدودًا، وليس لانهائيًا كما ذكرنا من قبل، وبذا تكون مشكلة الجسم الأسود قد حلت.

أجابت فرضية الكم على معدل انطلاق الإشعاع الصادر عن الجسم الساخن بصورة جيدة؛ ولكنها لم تعط الإجابة عن شق القدرية إلى أن صاغ عالم ألماني آخر سنة ١٩٢٦ هو فيرنر هايزينبرج (Werner Heisenberg) مبدأه الشهير عن عدم التيقن.

وتدلنا فرضية عدم التيقن أن الطبيعة تصنع حدودًا لما يمكن التنبؤ به عن المستقبل خلاف لمعتقدات لابلاس، فللتنبؤ بمكان أي جسيمة صغيرة وسرعتها على المرء أن يستطيع قياس

حالتها في البداية، أي مكانها وسرعتها بكل دقة، وبكل بساطة فالسبيل الوحيد لذلك هو تسليط ضوء على هذه الجسيمة، وستتشتت بعض موجات الضوء عند الاصطدام بالجسيمة، وهو ما يمكن للمشاهد ملاحظته، وعليه يمكن تحديد مكان هذه الجسيمة. ولكن الضوء ذا طول الموجة المعين له حساسية محدودة، إذ لن تستطيع تحديد مكان الجسيمة بدقة أكثر من المسافة بين قمم موجات الضوء، وعليه فلقياس مكان الجسيمة بالدقة المطلوبة من الضروري استعمال ضوء ذي موجة قصيرة، أي موجات ذات تردد عال. وبحسب نظرية بلانك للكم فإن أقل كمية ضوء يمكن استخدامها هي كم واحد ذو طاقة أعلى عند التردد الأعلى. وهكذا كلما أردنا تحديد مكان الجسيمة بدقة أكثر؛ لابد من استخدام ضوء ذي كمَّات ذات طاقة أعلى. وتبعًا لنظرية الكم فإن كمًا واحدًا من الضوء سيسبب اضطرابًا للجسيمة ويغير من سرعتها، وعليه لن نتمكن من تحديدها، وبزيادة طاقة الكمَّات سيزيد اضطراب الجسيمة. ويعني كل هذا أنه لتحديد مكان الجسيمة بدقة لابد من استخدام كمَّات ذات طاقة أعلى، مما سيتبعه اضطراب أكثر في سرعة الجسيمة. ويؤدي كل ذلك إلى أنه كلما زادت دقة تحديد المكان فإنه ستقل الدقة التي تقيس بها سرعة الجسيمة والعكس صحيح. وقد أوضح هايزنبرج أن حاصل ضرب كل من عدم التيقن لمكان الجسيمة في درجة عدم التيقن لسرعتها في كتلتها؛ لا يمكن بأي حال أن يقل عن كمية ثابتة معينة، فإذا انخفض عدم التيقن للمكان إلى النصف فلابد من مضاعفة عدم التيقن للسرعة، والعكس صحيح. ويعني ذلك أن الطبيعة تجبرنا على هذه المبادلة بين المكان والسرعة إلى الأبد.

ما مدى صعوبة هذه المبادلة؟ يعتمد ذلك على القيمة العددية لما أطلقنا عليه الكمية الثابتة المعينة المذكورة أعلاه، وقد أطلق على هذه الكمية اسم «ثابت بلانك» Planck`s Constant، وهو كمية ضئيلة جدًا. وبما أن ثابت بلانك ضئيل جدًا؛ فإن تأثير هذا التبادل (بين المكان والسرعة) ونظرية الكم على وجه العموم مثل تأثير النسبية إذ إن لهما تأثيرًا مباشرًا محسوسًا في حياتنا اليومية. (ورغم ذلك فلنظرية الكم تأثير في حياتنا؛ فهي أساس بعض المجالات مثل الالكترونيات الحديثة). فإذا حددنا مثلًا موضع كرة تنس الطاولة بدقة متناهية في حدود ١سم في أي اتجاه، وكانت كتلتها جرام واحد؛ فإننا نستطيع تحديد سرعتها بدقة أكثر مما نحتاج لمعرفته. ولكن إذا حددنا مكان إلكترون في حدود الذرة فإننا لا نستطيع تحديد سرعته بدقة أكثر من ± ١٠٠٠ كم في الثانية، وهو أمر غير دقيق أبدًا.

ولا تعتمد الحدود التي أملاها مبدأ عدم التيقن على الطريقة التي تحاول بها قياس موقع الجسيمة أو سرعتها أو نوعها. ومبدأ عدم التيقن لهايزينبرج خاصية أساسية للعالم لا يمكن الهروب منها، ولها تأثير مهم في الكيفية التي ننظر بها إلى العالم. وحتى بعد مرور أكثر من سبعين عامًا لا تحظى أفكار مبدأ عدم التيقن بالتقدير الكافي من الفلاسفة، ولا تزال الموضوع الذي يدور حوله كثير من الجدل. ولقد وضع مبدأ عدم التيقن النهاية لحلم لابلاس عن نموذج العالم الحتمي والمقدر تمامًا، وبكل تأكيد فإننا لا نستطيع التنبؤ بأحداث المستقبل بدقة؛ إذ لم نستطع تحديد الحالة الحالية للعالم بدقة تامة!

ويمكن أن نتصور أنه لا تزال هناك فئة من القوانين التي يمكن بتوظيفها تحديد الأحداث تمامًا لكيان ما ذي قوة خارقة للعادة (مختلف عنا)، إذ تستطيع هذه القوة مشاهدة الحالة الحالية للعالم من دون أن يحدث لها أي اضطراب. ويبدو أنه من الأجدرا استخدام النظرية المعروفة في الاقتصاد باسم «مشرط أوكام Occam`s Razor»، ونستبعد كل السمات التي لا نستطيع مراقبتها من النظرية. وقد أدى ذلك بكل من هايزينبرج وايروين شرودنجر Erwin Schrödinger وبول ديراك Paul Dirac في سنة ١٩٢٦ إلى إعادة صياغة ميكانيكا نيوتن وتحويلها إلى نظرية جديدة تدعى ميكانيكا الكم تقوم على مبدأ عدم التيقن. وفي هذه النظرية لم يعد للجسيمات مواقع أو سرعات محددة منفصلة، وبدلًا من ذلك اقترح هؤلاء العلماء حالة كمية خليط من الموقع والسرعة محددة بواسطة مبدأ عدم التيقن فحسب.

والخاصية التي أحدثت ثورة في ميكانيكا الكم هو أن هذا المبدأ لا يمكن أن يتنبأ بنتيجة واحدة محددة بالنسبة لأي مشاهدة، وبدلًا من ذلك فإن هذا المبدأ يقدم عددًا مختلفًا من الاحتمالات الممكنة كما تدل على إمكانية حدوثه، فمثلًا إذا أجريت القياسات نفسها على مجموعة كبيرة من الأنظمة المتشابهة – على افتراض أنها قد بدأت كلها بالطريقة نفسها – فستجد أن قياسات مجموعة معينة ينطبق عليها الحالة (أ)، بينما ينطبق على مجموعة أخرى الحالة (ب) وهكذا. ومن الممكن هنا أن نتنبأ بعدد مرات توارد (أ) أو (ب) التقريبي، غير أنه من المستحيل التنبؤ لقراءة معينة أن تكون (أ) أو (ب) بالتحديد.

فمثلا إذا تخيلنا لعبة رمي السهم، وطبقًا للنظريات الكلاسيكية ـ أي النظريات القديمة غير الكمية ـ فإن السهم الموجه إلى الدريئة إما أن يصيب منتصف الدريئة أو يبعد عنها، فإذا حسبت سرعة السهم عند إطلاقه تجاه الدريئة وقوى شد الجاذبية وعوامل أخرى؛ فمن الممكن معرفة ما إذا كان السهم سيصيب منتصف الدريئة أم لا. لكن نظرية الكم تقول إن هذا خطأ؛ لأنك لن تستطيع معرفة ذلك على وجه التحديد. وبدلًا من ذلك – ووفقًا لنظرية الكم – فهناك فرصة معينة أن يصيب السهم منتصف الدريئة، وهناك فرصة ليست صفرًا أن يصل السهم إلى مكان آخر على الدريئة، ولو أخذنا في الحسبان جسمًا كبيرًا نسبيًا كالسهم، وحسب النظرية الكلاسيكية ـ في هذه الحالة قوانين نيوتن ـ نستطيع القول إن السهم سيصل إلى منتصف الدريئة، وعليه من المقبول افتراض أنه سيصيب المنتصف. ومن الممكن القول إن فرص عدم إصابة منتصف الدريئة ضئيلة، طبقًا لنظرية الكم، إلى درجة أنه عند إرسال السهم نحو الدريئة بالطريقة نفسها مرات ومرات إلى الأبد؛ فإن احتمال عدم إصابة الهدف ستظل معدومة. ولكن على المستوى الذري يختلف الأمر؛ فسهم مكون من ذرة واحدة فرصة إصابته منتصف الهدف نحو ٩٠٪، و٥٪ أن يصيب الدريئة بعيدا عن المنتصف، و٥٪ بعيدا عن الدريئة تمامًا. ولا يمكن معرفة أي من هذه الأمور الثلاثة سيحدث بالتحديد، وكل ما يمكن قوله أنه بإجراء التجربة عدة مرات فإن احتمال إصابة منتصف الهدف هو ٩٠٪.

وبذلك فإن ميكانيكا الكم تقدم عنصرًا لا يمكن إغفاله للعشوائية أو عدم المقدرة على التنبؤ في العلم. ولقد عارض أينشتاين ذلك بشدة على الرغم من أثر ذلك في تطوير هذه الأفكار؛ بل في الحقيقة حصل أينشتاين على جائزة نوبل لمساهماته في نظرية الكم. وعلى الرغم من ذلك لم يقبل إطلاقًا أن العالم محكوم بالفرص والاحتمالات، وقد لخص هذا الشعور في عبارته الشهيرة: «إن الرب لا يلعب النرد».

وتقيم النظريات بمقدرتها على التنبؤ بنتائج أي تجربة كما سبق أن ذكرنا؛ غير أن نظرية الكم تحد من هذه المقدرة، فهل يعني ذلك أن نظرية الكم تضع حدًا على العلم، وإذا كان للعلم أن يتقدم فالطريقة التي نتعامل بها معه لابد أن تمليها الطبيعة، وفي هذه الحالة فإن الطبيعة تتطلب أن نعيد صياغة مفهومنا عن التنبؤ. وإذا كنا لا نستطيع التنبؤ بنتيجة تجربة محددة تمامًا فإننا نستطيع بعد إجراء التجربة عدة مرات أن نؤكد الاحتمالات الممكنة، التي

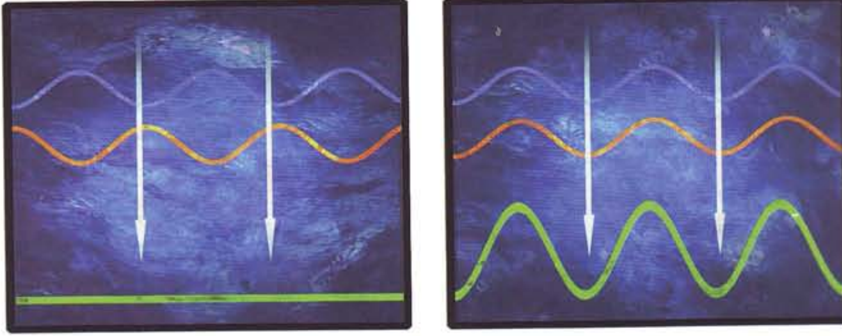
يمكن أن تحدث في إطار تنبؤات نظرية الكم. ولذلك - وعلى الرغم من مبدأ عدم التيقن - فإننا لا نتخلى عن الاعتقاد بأن العالم محكوم بقانون فيزيائي. وفي النهاية – وفي الحقيقة – إن معظم العلماء راغبون في تقبل ميكانيكا الكم تمامًا؛ لأنها تتوافق تمامًا مع التجربة.



موقع الكم المشوش
لا يستطيع المرء تحديد موقع جسم وسرعته وفقًا لنظرية الكم
بدقة متناهية، ولا يمكن التنبؤ كذلك بأحداث المستقبل

وأحد أهم المعطيات الناتجة عن مبدأ عدم التيقن لهايزينبرج أن الجسيمات تتصرف كالموجات في بعض الظروف، وكما رأينا فإنها تشغل حيزًا محددًا، ولكنها «مهزوزة» تمتلك فرصة توزيع معينة. وبالقدر نفسه – وعلى الرغم من أن الضوء يتكون من موجات – فإن فرضية الكم لبلانك تبين بطريقة ما أن الضوء يتصرف وكأنه يتكون من جسيمات من رزم

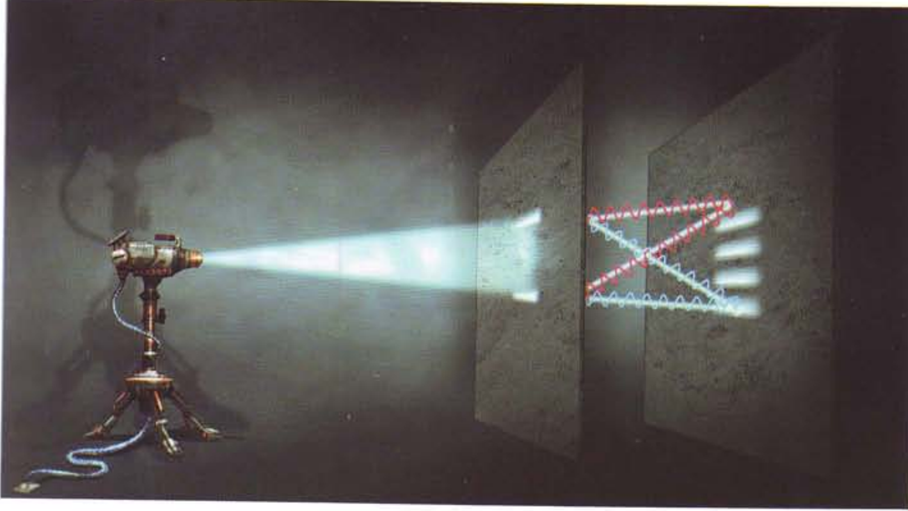
ـعيرة أو كمات quanta. وفي الواقع فإن نظرية الكم تعتمد كليًا على نوع جديد من
ـريـ ضيات، التي لا تصف العالم الحقيقي من المصطلحات الخاصة بالجسيمات أو الموجات.
ومن المفيد أحيانًا معاملة الموجات كالجسيمات؛ غير أن هذه الطرائق في التفكير هي لمحض
ـسيط، وهذا ما يقصده الفيزيائيون عندما يقولون إن هناك ازدواجية بين الموجات
و لجسيمات في ميكانيكا الكم.



تطابق الأطوار واختلافها
إذا تطابقت قيعان وقمم موجتين وقممهما فسينتج عنهما موجة أقوى (تطابق)
أما إذا تطابقت قمة موجة مع قاع موجة أخرى فسيلاشي كل منهما الآخر

وإحدى النتائج المهمة للسلوك الموجي للجسيمات في ميكانيكا الكم أننا نستطيع أن نرى ما يطلق عليه التداخلات بين مجموعتين من الجسيمات، والتداخل عادة خاصية من خواص الموجات، فيقال إنه عند تلاقي الموجات قد تنطبق قمم مجموعة منها مع قيعان مجموعة أخرى، وفي هذه الحالة تصبح الموجات كأن لم تكن، وعندما يحدث ذلك فإن هاتين المجموعتين يلاشي كل منهما الآخر، بدلًا من أن يكوّنا معًا موجات أقوى كما هو متوقع. وأحد الأمثلة المألوفة للتداخل في حالة الضوء هو هذه الألوان التي تظهر غالبًا في رغوة الصابون، ويرجع السبب في ذلك إلى انعكاس الضوء عن سطحي الطبقة الرقيقة للماء المكون للفقاعات، ويتكون الضوء الأبيض من موجات ضوئية ذات أطوال (أو ألوان) مختلفة، وعند انعكاس الضوء تتطابق قمم موجات ذات أطوال معينة منعكسة من أحد جانبي طبقة الماء الرقيقة في

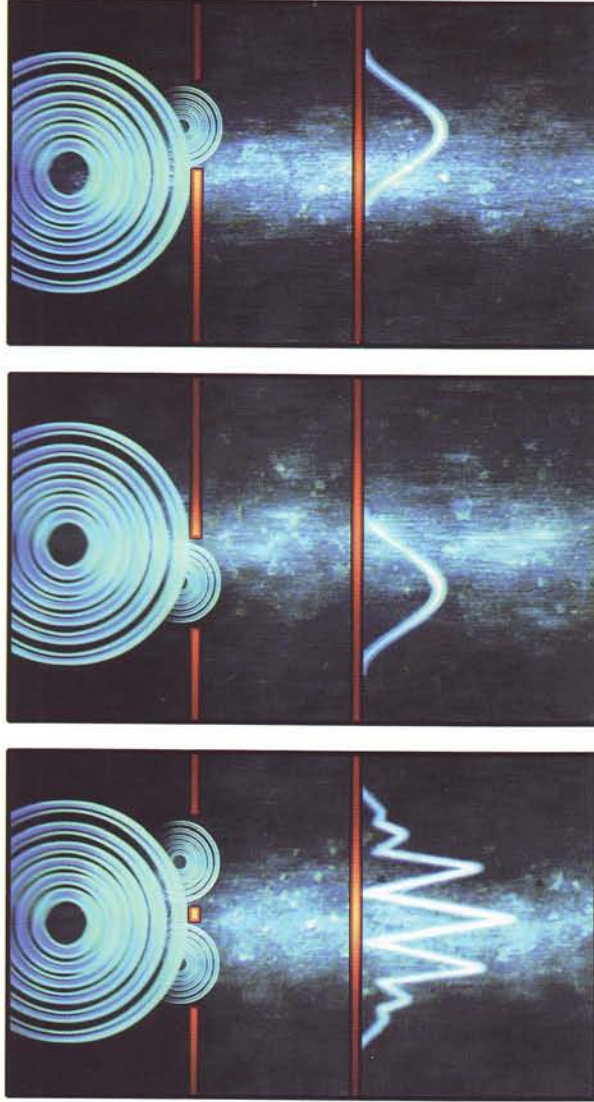
رغوة الصابون مع قيعان موجات منعكسة من الجانب الآخر لطبقة الماء الرقيقة، وتتلاشى الألوان الخاصة بهذه الموجات من الضوء المنعكس، ولذلك تبدو ملونة.



مسافات المسار والتداخل

في تجربة الشقين: تختلف المسافة التي تقطعها موجات الضوء عن الشق الأعلى من تلك التي تقطعها من الشق الأسفل إلى الشاشة، مع ارتفاع النقاط على هذه الشاشة . والنتيجة أن الموجات ستعضد بعضها عند بعض هذه النقاط (لارتفاعات) وستلاشى بعضها عند نقاط أخرى (ارتفاعات أخرى) مكونة نسقًا للتداخل .

وتدلنا نظرية الكم على أن التداخل يمكن أن يحدث كذلك في الجسيمات نتيجة للازدواجية التي جاءت بها ميكانيكا الكم، والمثال المشهور على ذلك هو تجربة الشقين الطوليين، تخيل حاجزًا على شكل جدار به شقين طوليين ضيقين ومتوازيين، وقبل أن ندرس ما يحدث عندما تمر الجسيمات خلال الشقين؛ فلنختبر ماذا يحدث عندما يسلط الضوء عليهما، ولنضع مصدرًا ضوئيًا ذا لون معين (أي له أطوال موجات معينة) على أحد جانبي ذلك الجدار، سيصطدم معظم الضوء بالجدار، لكن جزءًا صغيرًا سيعبر خلال الشقين. ولنفترض أنك وضعت شاشة على الجانب الأخر من الجدار، وهكذا ستستقبل أي نقطة على الشاشة موجات من كلا الشقين. وبصفة عامة فإن المسافة التي يقطعها الضوء من لحظة خروجه من المصدر حتى يصل



التداخل الإلكتروني

لا تتفق الصورة الناتجة عن إرسال شعاع من الإلكترونات خلال كل شق على حدة مع الصورة الناتجة عن التداخل إذا أُرسل شعاع من الإلكترونات خلال الشقين معًا

إلى الشاشة على الجانب الآخر من الجدار خلال أحد الشقين؛ ستختلف عن تلك التي يقطعها الضوء عند المرور من الشق الآخر. وبما أن المسافة في الحالتين مختلفة فإن الموجات المندفعة من الشقين لن تتطابق عند الوصول إلى الشاشة، ففي بعض الأماكن ستتطابق قيعان بعض الموجات مع قمم الموجات الأخرى وستتلاشى جميعها، وفي أماكن أخرى ستتطابق القمم مع القمم والقيعان مع القيعان، وستعضد كل موجة الموجة الأخرى. وفي معظم الأماكن سيكون الوضع ما بين الحالتين، والنتيجة نسيج متميز من الضوء والظلام على هذه الشاشة.

والنتيجة أن الموجات ستعضد بعضها عند بعض هذه النقاط (الارتفاعات)، وستلاشي بعضها عند نقاط أخرى (ارتفاعات أخرى) مكونة نسقًا للتداخل والجدير بالملاحظة أنك ستحصل على المسلك نفسه – إذا أحللت مصدر الضوء بمصدر للجسيمات – مثل الإلكترونات ذات السرعة المحدودة، (ووفقًا لنظرية الكم إذا كانت للإلكترونات سرعة محددة؛ فإن الموجات المرتبطة بها سيكون لها أطوال محددة). افترض أن هناك شقًا واحدًا طوليًا، وأرسلنا خلاله شعاعًا من الإلكترونات، ستصطدم معظم الإلكترونات بالجدار؛ لكن بعضها سينفذ من خلال الشق، ويصل إلى الشاشة على الجانب الآخر، وقد يبدو منطقيا أن نفترض أن وجود شق ثان على الجدار سيزيد في عدد الإلكترونات الساقطة على كل نقطة من الشاشة، لكن بوجود الشق الثاني اتضح أن عدد الإلكترونات التي تصل إلى الشاشة تزيد عند بعض النقاط وتقل عند البعض الآخر؛ أي أن الإلكترونات تتداخل مع بعضها تمامًا كما تفعل الموجات بدلًا من أن تتصرف بوصفها جسيمات.

وتصور الآن إرسال الإلكترونات خلال الشقين تباعًا أي واحدًا كل مرة، فهل سيحدث التداخل؟ قد نتوقع أن يعبر كل إلكترون خلال أحد الشقين متغافلًا الشق الآخر، ولن يظهر نسق التداخل، في الواقع حتى عند إرسال إلكترون واحد؛ فإن نسق التداخل سيظل يظهر. ويعني ذلك أن كل إلكترون لابد أنه يمر من خلال الشقين في الوقت نفسه ويتداخل مع نفسه.

لقد أصبحت ظاهرة التداخل بين الجسيمات شيئًا أساسيًا في مفهومنا عن بنية الذرات. وهذه الجسيمات هي الوحدات الأساسية التي منها صنعنا نحن، وكل شيء من حولنا. وكان

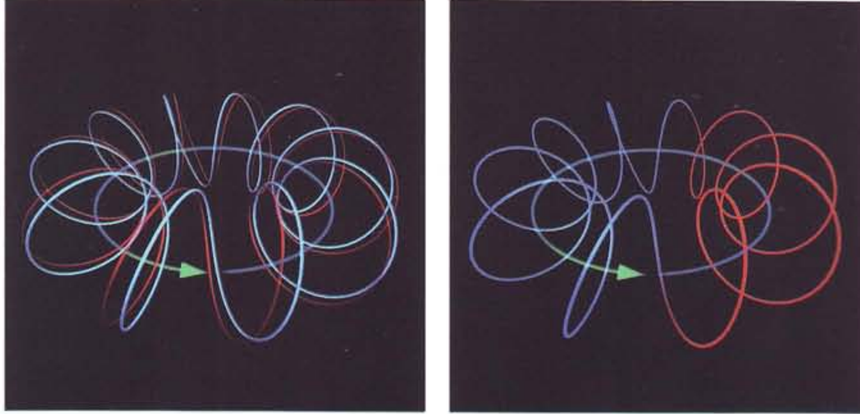
وجد في بداية القرن العشرين أن الذرات – مثل الكواكب التي تدور حول الشمس – تحتوي على إلكترونات (جسيمات ذات كهربية سالبة) تدور حول نواة مركزية تحمل شحنة موجبة. وكان من المفترض أن التجاذب بين الكهربية الموجبة والسالبة هو الذي يحافظ على دوران الإلكترونات؛ تمامًا مثل قوى التجاذب بين الشمس والكواكب التي تحافظ على هذه الأخيرة في أفلاكها، لكن المعضلة التي تترافق مع هذا التصور هي أن القوانين التقليدية للميكانيكا والكهرباء (قبل ميكانيكا الكم) تتنبأ بأن دوران الإلكترونات بهذا الشكل لابد أن يصدر إشعاعًا، وسيجعل هذا الإلكترونات تفقد طاقة، ومن ثم ستتراجع إلى الداخل إلى أن تصطدم بالنواة، ويعني ذلك أن الذرة – وكل المادة بالتأكيد سرعان ما ستنهار إلى حالة من الكثافة الهائلة وهو الأمر الذي لا نلاحظه.

وقد وجد العالم الدانماركي نيلز بوهر Niels Bohr حلًا جزئيًا لهذه المشكلة سنة ١٩١٣. إذ اقترح أنه من المحتمل أن تدور الإلكترونات على مسافات معينة ومحددة من مركز النواة لا تحيد عنها، وافترض كذلك أن إلكترونًا واحدًا (أو اثنين) فقط يمكن أن يدورا على هذه المسافة المعينة، وقد حل بذلك معضلة انهيار الإلكترون على النواة؛ إذ إنه حين تمتلئ المدارات الداخلية المحددة لا تستطيع الإلكترونات الانسحاب إلى الداخل بعد ذلك، ويفسر هذا النموذج تمامًا البنية البسيطة لذرة الهيدروجين التي فيها إلكترون واحد يدور حول النواة، غير أنه ليس واضحًا كيف يمكن استخدام هذا النموذج ليشمل الذرات الأكثر تعقيدًا. والأكثر من ذلك أن فكرة المجموعة المحدودة من المدارات المسموح بشغلها تشبه إلى حد ما شريطًا لاصقًا. كانت تلك محاولة توافقت رياضيًا؛ لكن أحدًا لم يعرف لماذا هذه الطبيعة وهذا المسلك، وهل هي تمثل قانونًا أعمق من ذلك؛ إذا ما وجد؟ وقد فسرت النظرية الجديدة للكم هذه المشكلة، بينت هذه النظرية أن الإلكترون الذي يدور حول النواة يمكن تصوره كموجة لها طول يعتمد على سرعة الإلكترون، ولنتخيل أن الموجة تدور حول النواة على مسافة معينة - كما اقترح بوهر - وفي مدارات معينة سيكون محيط هذه المدارات متوافقًا مع عدد صحيح (وليس كسرًا) لأطوال موجات الإلكترونات، وفي هذه المدارات ستكون قسم الموجات الدائرة متوافقة في كل مرة تدور، وعليه فإن الموجات ستقوي بعضها بعضًا. وستتفق هذه المدارات مع مدارات بوهر المسموح بها. أما المدارات ذات الأطوال المساوية لأعداد غير صحيحة (كسور)؛ فإن كل قمة ستتلاشى مع قاع موجة عندما يدور الإلكترون،

وبذا فإن هذه المدارات غير مسموح بها، وهكذا حصلوا على تفسير لقانون بوهر للمدارات المسموح بها والممنوعة.

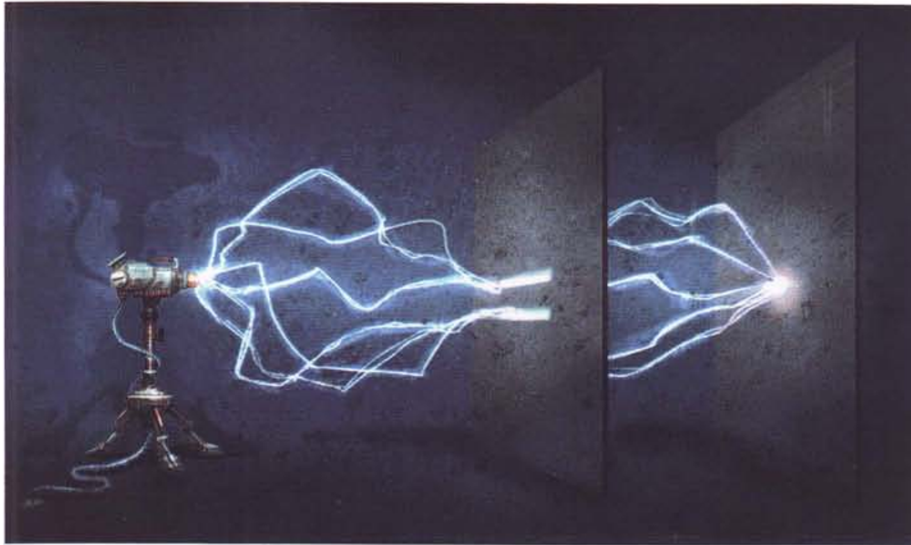
قدم العالم الأمريكي ريتشارد فينمان Richard Feynman طريقة رائعة لتصور ازدواجية الموجة/الجسيمة، فيما أطلق عليه المجموع لكل التواريخ Sum over histories. وفي هذا المنطلق لا يفترض أن للجسيمة تاريخًا مفترضًا أو ممرًا في الزمكان، كما هو الحال في النظرية التقليدية غير الكمية. وبدلًا من ذلك يفترض فينمان أن الجسيمة تنتقل من نقطة (أ) إلى نقطة (ب) بأي ممر محتمل يمكن أن تسلكه. وفي كل ممر بين (أ) و(ب) ربط فينمان ذلك بزوج من الأعداد. أحد هذه الأعداد يمثل سعة الموجة أو حجمها والآخر يمثل الطور أو المكان على حلقة الموجة (هل هو عند قمة أو قاع أو بين ذلك). ولحساب احتمالية تحرك جسيم من (أ) إلى (ب) يمكن الحصول عليه بجمع كل الموجات لكل المسارات التي تربط بين (أ) ، و(ب). وعمومًا عند مقارنة مجموعة المسارات المتجاورة؛ إننا سنجد أن الأطوار أو الأماكن في الدورة ستختلف عن بعضها كثيرًا. ويعني ذلك أن الموجات المرتبطة بتلك المسارات غالبًا ما تتلاشى مع بعضها بعضًا. وعلى كل ففي بعض مجاميع المسارات المتجاورة لن يتغير الطور كثيرًا بين المسارات، ولن تتلاشى موجات هذه المسارات. وتقابل مثل هذه المسارات مدارات بوهر المسموح بها.

وبمثل هذه الأفكار في الهيئة الرياضية المتماسكة أصبح الأمر سهلًا تمامًا؛ لحساب المدارات المسموح بها في ذرات أكثر تعقيدًا، أو حتى في جزيئات مكونة من عدد من الذرات، مرتبطة مع بعضها بإلكترونات تدور في مدارات حول أكثر من نواة واحدة. وبما أن بنية الجزيئات وتفاعلاتها مع بعضها بعضًا هي الأساس في الكيمياء والبيولوجيا؛ فإن نظرية الكم تسمح من حيث المبدأ بالتنبؤ بكل شيء نراه حولنا، في إطار الحدود التي وضعها مبدأ عدم التيقن، (وعمليًا فإننا عمومًا لا نستطيع حل المعادلات بالنسبة لذرة أكثر تعقيدًا من أبسط الذرات - ذرة الهيدروجين - والتي تمتلك إلكترونًا واحدًا فقط، ولذا فإننا نستخدم التقريب والحاسبات الآلية لتحليل الذرات الأكثر تعقيدًا والجزيئات).



الموجات في المدارات الذرية

تخيل بوهر أن الذرة تتكون من موجات إلكترونية تدور باستمرار إلى مالا نهاية حول النواة.. وفي هذه الصورة ستبقى المدارات ذات الأعداد الصحيحة لأطوال موجات الإلكترونات، ولن تنهار نتيجة التداخل.



المسارات العديدة للإلكترونات

في صيغة فينمان لنظرية الكم جسيمة مثل هذه تتحرك من المصدر إلى الشاشة المستقبلة سالكة أي مسار محتمل.

وأصبحت نظرية الكم ذات نجاح منقطع النظير، ووضعت تقريبًا كل أسس العلوم والتكنولوجيا الحديثة. وتتحكم هذه النظرية في مسلك الترانزستورات والدوائر المتكاملة. وهي المكونات الأساسية لكل الأجهزة الإلكترونية مثل التليفزيون والحاسب الآلي، وهي أيضًا في أساس الكيمياء الحديثة والبيولوجيا. أما الجاذبية والبنى ذات المقاييس الكبيرة فهي الجزء الذي لم تشمله ميكانيكا الكم من العلوم الفيزيائية؛ فنظرية أينشتاين للنسبية العامة - كما ذكرنا من قبل - لم تأخذ في الحسبان مبدأ عدم التيقن لميكانيكا الكم كما يجب لتتمشى مع النظريات الأخرى.

وكما رأينا في الفصل الأخير فإننا نعلم ضرورة أن تعدل النسبية العامة. وبتنبؤها بنقاط الكثافة اللا نهائية - نقاط التفرد - تصنع نظرية النسبية العامة الكلاسيكية (غير الكمية) نهايتها بنفسها، تمامًا كما تفعل الميكانيكا الكلاسيكية عندما تقترح أن الأجسام السوداء تشع طاقة لا نهائية، أو أن الذرات يجب أن تنهار إلى كثافة لانهائية. وكما هو الحال بالنسبة للميكانيكا الكلاسيكية؛ فإننا نأمل أن نزيل حالة التفرد غير المقبولة، وذلك بإيجاد نسبية عامة كلاسيكية في نظرية الكم؛ أي إيجاد نظرية كم للجاذبية. وإذا كانت النسبية العامة على خطأ فلماذا تدعمها كل التجارب حتى الآن؟ والسبب في أننا لم نلاحظ أي تعارض مع مشاهداتنا؛ هو أن مجالات الجاذبية التي نصادفها عادة ما تكون ضعيفة جدًا. لكن – وكما رأينا – فإن مجال الجاذبية لابد أن يصبح قويًا جدًا عندما تتقلص (تنكمش) كل المادة والطاقة الموجودة في الكون إلى حجم صغير في الكون المنهار على نفسه. ومع مثل هذه المجالات القوية لابد أن تصبح التأثيرات الكمية على درجة هائلة من الأهمية.

وعلى الرغم من أنه ليس لدينا حتى الآن نظرية كم للجاذبية إلا أن لدينا عددًا من السمات التي نظن أنها تحتويها، وأحد هذه السمات أنها يجب أن تتضمن اقتراح فينمان لصياغة نظرية الكم بمدلول مجموع كل التواريخ. والسمة الثانية التي يجب أن تتضمنها أي نظرية نهائية هي فكرة أينشتاين بأن مجال الجاذبية يمثله زمكان محدب: أي أن الجسيمات تحاول أن تسلك أقرب شيء إلى ممر مستقيم في فراغ محدب، وبما أن الزمكان ليس مسطحًا فإن ممرات هذه الجسيمات تبدو منحنية، وكأن ذلك بتأثير الجاذبية. وعندما نطبق فكرة مجموع كل التواريخ لفينمان على رؤية أينشتاين عن الجاذبية، نجد أنه بالمثل تاريخ الجسيمة الآن هو زمكان محدب تمامًا يمثل تاريخ الكون.

ووفقًا لنظرية الجاذبية التقليدية؛ هناك احتمالان فقط للطريقة التي يمكن أن يسلك فيها الكون: فإما أن الكون أزليٌّ (زمن لا نهائي في الماضي)، أو كان له بداية في حالة تفرد في لحظة ما من الزمان في الماضي. ولأسباب نوقشت من قبل فإننا نعتقد أن الكون ليس أزليًا. وإذا كان للكون بداية — فوفقًا للنسبية العامة الكلاسيكية، وحتى نعرف أي حلول معادلات أينشتين تصف كوننا ـ فلابد أن نعرف حالة الكون الأولية، أي كيف بدأ بالضبط. وقد يكون الرب قد أصدر قوانين الطبيعة، ولكن يبدو أنه ترك الكون يتطور وفق هذه القوانين. ولا يتدخل فيها منذ تلك اللحظة. كيف اختار الرب الحالة الأولية أو الترتيب النسبي للأجرام في الكون؟ وكيف كانت الظروف المحددة في بداية الزمن؟ وهذه هي المشكلة في النسبية العامة التقليدية؛ لأنها تتحطم كنظرية في لحظة بداية الكون.

ومن جهة أخرى تحتوي نظرية الكم للجاذبية على إمكانية جديدة قد ظهرت، ولو صحت لعالجت هذه المشكلة؛ فوفقًا لنظرية الكم من الممكن أن يكون الزمكان محددًا وليس له حالة تفرد تضع له حدودًا أو حواف، فقد يكون الزمكان مثل سطح الأرض لكن مع بعدين إضافيين. وكما سبق أن أشرنا: إذا دوامت على السفر في اتجاه معين على سطح الأرض؛ فإنك لن تصطدم أبدًا بحاجز لا يمكن تخطيه، أو تسقط من حافة الأرض، وستعود في نهاية المطاف إلى حيث بدأت من دون الدخول في حالة تفرد. وإذا كان ذلك صحيحًا فإن نظرية الكم للجاذبية تكون قد فتحت إمكانية جديدة، إذ ليس هناك حالة تفرد تنهار عندها قوانين العلوم.

وإذا لم يكن للزمكان حدود فلا حاجة بنا لتحديد السلوك عند هذه الحدود، ولا حاجة لمعرفة الحالة البدائية للكون. ليس للزمكان حافة علينا أن نبتهل عندها إلى الرب، أو نتوسل إلى قانون جديد ليضع ظروف الحدود للزمكان. ونستطيع القول: «الظروف الحدية للكون هي أنه ليس له حدود»، فالكون قد يكون مغلقًا على نفسه تمامًا ولا يتأثر بأي شيء خارجه. فهو لم يخلق ولن يفنى، وهو موجود فقط. وطالما اعتقدنا أن للخلق بداية فإن دور الخالق يبدو واضحًا هنا، أما إذا كان الكون بالفعل مغلقًا على نفسه وليس له حدود أو حواف، وليس له بداية أو نهاية؛ فإن الإجابة ليست واضحة: ما هو دور الخالق؟

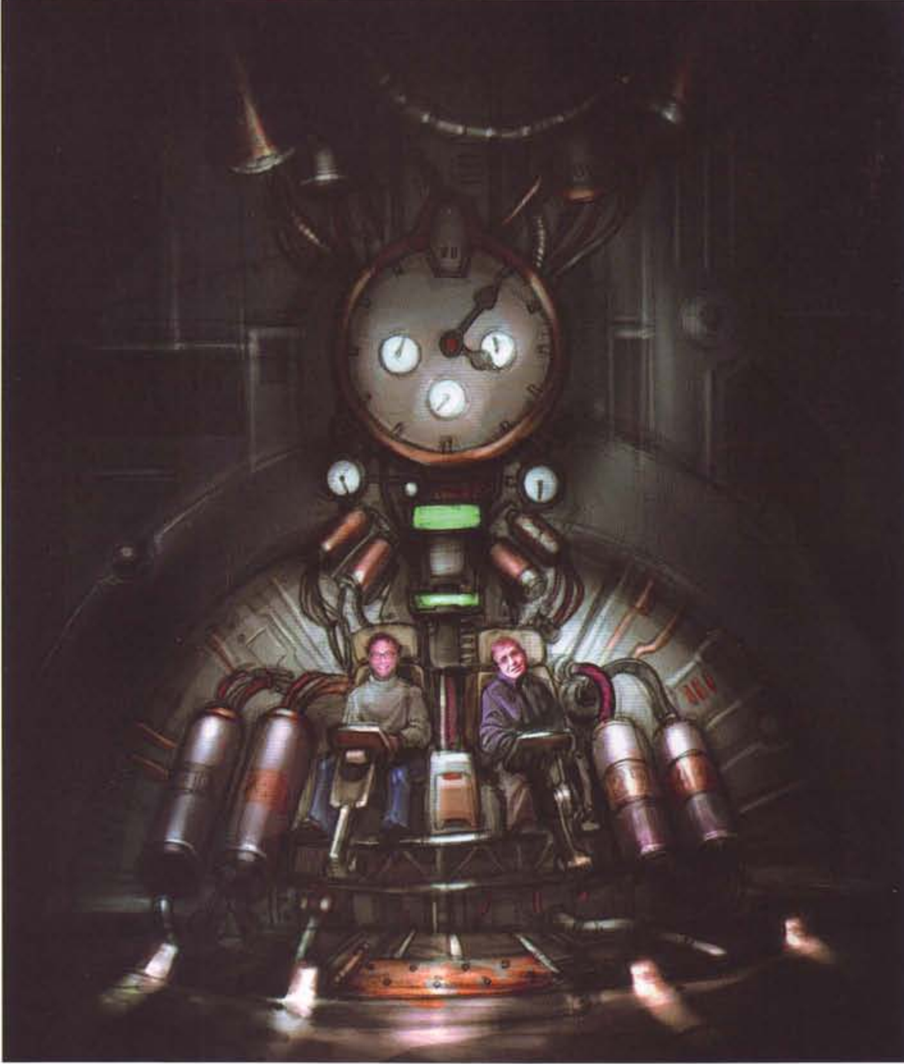
١٠
الثقوب الدودية والسفر عبر الزمن

رأينا في فصول سابقة كيف تغيرت نظرتنا إلى طبيعة الزمان عبر السنين. فقد كان الناس حتى بداية القرن العشرين يعتقدون أن الزمن مطلق، ويعني ذلك أن كل حدث يمكن أن يوصف بعدد اسمه «الزمن» بطريقة فريدة، وأن كل الساعات الجيدة تتفق على قيمة الفترة الزمنية بين حدثين. غير أن اكتشاف أن سرعة الضوء ثابتة بالنسبة لكل مراقب من دون النظر إلى اتجاه حركته؛ قد أدى إلى النظرية النسبية، والتخلي عن فكرة وجود زمن فريد ومطلق. ولا يمكن وصف زمن الحدث بطريقة فريدة، وبدلًا من ذلك فإن لكل مشاهد مقياسه الخاص للزمن كما تسجله الساعة التي يحملها، وليس بالضرورة أن تتفق ساعات المشاهدين المختلفة فيما بينها. وهكذا فقد أصبح الزمن مفهومًا شخصيًا بالنسبة للمراقب الذي يرصده. ولا نزال نتعامل مع الزمن وكأنه خط سكة حديد مستقيم يمكن السفر عليه في أحد اتجاهين فحسب، لكن ماذا لو كانت هناك حلقات تدور وفروع تتشعب من هذا الخط، والتي يمكن أن تسير إلى الأمام وتعود إلى النقطة التي بدأت منها؟ وبعبارة أخرى: هل من الممكن أن يسافر شخص إلى المستقبل أو إلى الماضي؟ وقد سبر ويلز (H. G. Wells) هذه الاحتمالات في كتابه «آلة الزمن»، مثله مثل عدد لا يحصى من كتاب الخيال العلمي الآخرين، ومع ذلك فإن الكثير من أفكار الخيال العلمي مثل الغواصات والسفر إلى القمر؛ قد أصبحت أمورًا علمية حقيقية. وهكذا، ما هي آفاق السفر عبر الزمن؟

من الممكن السفر إلى المستقبل، بمعنى أن النسبية تبين أنه من المحتمل إنشاء آلة للزمن تقفز بك إلى الأمام في الزمن، فأنت تدخل آلة الزمن وتمكث بها فترة، ثم تخرج وتتركها لتكتشف أن الزمن الذي انقضى على الأرض أكبر كثيرًا من ذلك الذي أمضيته داخل آلة الزمن، ولا نملك اليوم تكنولوجيا تستطيع إنجاز ذلك، لكن الأمر محض مسألة هندسية: فنحن نعلم أن ذلك ممكن، وتتمثل إحدى طرائق بناء مثل هذه الآلة في استغلال الموقف المذكور في الفصل السادس حول تناقض التوائم (Twins Paradox). وفي هذه الطريقة – وبينما تجلس داخل آلة الزمن – فإنها تنطلق وتتسارع إلى قرب سرعة الضوء، وتستمر كذلك لوهلة (تعتمد على الفترة الزمنية التي ترغب في السفر خلالها) ثم تعود. ولا تندهش إذا اكتشفت أن آلة الزمن ليست إلا سفينة فضاء؛ لأن الزمان والمكان مرتبطان بالنظرية النسبية. وعلى أي حال فإن «المكان» الوحيد بالنسبة لك خلال تلك الرحلة هو داخل آلة الزمن، وعندما تخرج مغادرًا آلة الزمن ستجد أن الزمن الذي مر على الأرض أكبر كثيرًا من الزمن الذي أمضيته داخل الآلة. لقد سافرت إلى المستقبل؛ لكن هل تستطيع العودة؟ وهل نستطيع إيجاد الظروف التي تحقق إمكانية السفر إلى ماضي الزمن؟

كانت أولى الدلائل على احتمال السفر إلى ماضي الزمن قد ظهرت من قوانين الفيزياء سنة ١٩٤٩، عندما اكتشف كيرت جوديل (Kurt Gödel) حلاً جديدًا لمعادلات أينشتاين: أي زمكان جديد تسمح به النسبية العامة. وتتفق نماذج رياضية كثيرة للكون مع معادلات أينشتاين؛ لكنها لا تعني أنها تقابل الكون الذي نعيش فيه، فهي مثلًا تختلف في ظروفها الأولية أو الحدية. ولابد لنا أن نختبر التنبؤات الفيزيائية لهذه النماذج، لنقرر ما إذا كانت تقابل كوننا أو لا تقابله.

كان جوديل عالم رياضيات اشتهر بأنه أكد استحالة إثبات كل المقولات الحقيقية. حتى لو التزمت بمحاولة إثبات كل المقولات الحقيقية في موضوع شكلي واضح قطعيًا. كما هو الأمر في الحساب. وكما هو الحال في مبدأ عدم التيقن؛ فإن نظرية عدم الاكتمال (Incompleteness Theorem) قد تكون تحديدًا أساسيًا لمقدرتنا على فهم الكون والتنبؤ به. عرف جوديل النسبية العامة معرفة جيدة عندما قضى هو وأينشتاين سنواتهما الأخيرة في معهد الدراسات المتقدمة بجامعة برينستون، وزمكان جوديل له خاصية غريبة تكمن في أن الكون كله يدور حول نفسه.



آلة الزمن
المؤلفان في آلة الزمن

ماذا يعني أن الكون كله يدور حول نفسه؟ كلمة يدور تعني أن يظل في حركة دائرية مستمرة؛ لكن ألا يعني ذلك وجود نقطة مرجعية ساكنة؟ وهكذا يمكن أن نتساءل «يدور بالنسبة لماذا؟» والإجابة هنا فنية بعض الشيء؛ لكنها في الأساس تعني أن المادة البعيدة لابد

أن تدور بالنسبة للاتجاهات التي تشير إليها نتوءات، أو قمم بارزة صغيرة في الكون. وهذا تأثير رياضي جانبي في زمكان جوديل؛ وهو أنك إذا سافرت مسافة كبيرة مبتعدًا عن الأرض، ثم عدت، فمن المحتمل أنك ستعود إلى الأرض قبل أن تبدأ الرحلة.

وكون معادلات جوديل تسمح بمثل هذا الاحتمال قد أزعج أينشتاين بالفعل، الذي اعتقد أن النسبية العامة لا تسمح بالسفر عبر الزمان. لكن ومع أن ذلك يحقق معادلات أينشتاين؛ إلا أن الحل الذي وجده جوديل لا يعبر عن العالم الذي نعيش فيه، لأن مشاهداتنا تبين أن عالمنا لا يدور، أو على الأقل ليس دورانه واضحًا. كما أن عالم جوديل لا يتمدد كما يتمدد عالمنا. غير أنه منذ ذلك الحين اكتشف العلماء الدارسون لمعادلات آينشتاين أن عدد آخر من محاور الزمكان تسمح به النسبية العامة، يؤدي إلى إمكانية السفر في الماضي. إلا أن ملاحظاتنا عن الخلفية الإشعاعية الميكروية، وانتشار العناصر مثل الهيدروجين والهليوم، تشير إلى أن الكون المبكر لم يكن به نوع من التحدب الذي تتطلبه هذه النماذج حتى يسمح بالسفر عبر الزمن. ويمكن الوصول إلى النتيجة نفسها نظريًا إذا كان اقتراح عدم الحدية صحيحًا. وعليه فإن السؤال يصبح: إذا كان الكون قد بدأ من دون وجود نوع من التحدب المطلوب للسفر عبر الزمن؛ فهل يمكن أن نحدّب نحن مناطق محلية من الزمكان بما يكفي لكي تسمح بذلك؟

ومرة أخرى – وبما أن الزمان والمكان مرتبطان – فليس عليك أن تندهش من كون مسألة السفر في الماضي مرتبطة بشدة بمسألة السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء، ومن السهل أن نرى أن السفر عبر الزمن يتضمن السفر أسرع من الضوء: إذا جعلت الجزء الأخير من رحلتك عبر الزمن يتكون من السفر في الماضي؛ فإنك تستطيع أن تنهي رحلتك كلها في وقت قصير كما يحلو لك، أي أنك ستتمكن من السفر بسرعة غير محدودة! وكما سنرى فإن الأمر يمكن أن ينعكس: إذا استطعت السفر بسرعة غير محدودة؛ فإنك بذلك تستطيع السفر في الماضي، ولا يمكن حدوث أمر من دون الآخر.

ومسألة السفر بسرعة تفوق سرعة الضوء تهم أكثر ما تهم كتاب الخيال العلمي، وتكمن المشكلة في أنه – طبقًا للنسبية – إذا أرسلت سفينة فضاء إلى أقرب نجم مجاور لنا وهو بروكسيما

سنتاوري الذي يبعد نحو أربع سنوات ضوئية، فقد تمر ثماني سنوات على الأقل قبل أن نتوقع عودة المسافرين ليخبرونا ما اكتشفوه، أما إذا كانت الرحلة تقصد مركز مجرتنا فإن عودة الرحلة ستستغرق مائة ألف سنة؛ وليس ذلك بالشيء الجيد إذا كنت ترغب في الكتابة عن الحرب بين المجرات! وما زالت النظرية النسبية لا تسمح لنا بالتوصل إلى أحد التوافقات، ومرة أخرى – ووفقًا للخط الذي اتبعناه في مناقشة تناقض التوائم في الفصل السادس: من الممكن أن تبدو الرحلة أقصر كثيرًا بالنسبة للمسافرين في الفضاء عنها بالنسبة للمقيمين على الأرض، وليس الأمر مهمًا أن تعود من رحلة في الفضاء استغرقت منذ بضع سنوات من العمر؛ لتجد أن كل من تركتهم قد ماتوا، أو مضى على ذلك آلاف السنين. وهكذا – ومن أجل إثارة اهتمام الناس برواياتهم فإن كتاب الخيال العلمي لابد أن يفترضوا التوصل يومًا ما إلى إمكانية السفر أسرع من الضوء، ولايبدو أن معظم هؤلاء المؤلفين قد أيقن حقيقة أنك إن تمكن أن تسافر بسرعة تفوق سرعة الضوء؛ فالنظرية النسبية تتضمن إمكانية السفر في الماضي كما تروي المقطوعة الشعرية الآتية:

ذات مرة كانت سيدة شابة.
سافرت أسرع من الضوء كثيرًا.
أقلعت في أحد الأيام.
في طريقها.
لكنها وصلت في الليلة السابقة.

ومفتاح هذه العلاقة يكمن في أن النسبية لا تنص على الافتقار إلى مقياس متفرد للزمن قد يتفق عليه جميع المراقبين فحسب؛ لكن تحت ظروف معينة ليس من الضروري أن يتفق المراقبون على تتابع الأحداث. وبالتحديد إذا كان هناك حدثان (أ) و(ب) بعيدان إلى درجة أن السفينة الصاروخية لابد أن تسافر أسرع من الضوء لتصل من (أ) إلى (ب)؛ فإن اثنين من المراقبين يتحركان بسرعة مختلفة لن يتفقا على حدث (أ) قبل (ب)، أو (ب) قبل (أ). ولنفترض مثلًا أن الحدث (أ) هو نهائي سباق مائة متر في الألعاب الأوليمبية سنة ٢٠١٢، بينما الحدث (ب) هو افتتاح الاجتماع الرابع بعد المائة ألف لكونجرس بروكسيما سنتاوري، ولنفترض أنه بالنسبة لمراقب على الأرض فإن الحدث (أ) قد وقع أولًا ثم تبعه الحدث (ب)،

ولنفترض أن الحدث (ب)، قد وقع بعد مضي سنة من الحدث (أ)، أي سنة ٢٠١٣ بالتوقيت الأرضي، وبما أن المسافة بين الأرض وبروكسيما سنتاوري أربع سنوات ضوئية؛ فإن هذين الحدثين يحققان التتابع الآتي: مع أن (أ) قد وقع قبل (ب) فلابد أن تسافر أسرع من الضوء لتصل من (أ) إلى (ب). وبالنسبة لمراقب على بروكسيما سنتاوري يتحرك مبتعدًا عن الأرض بسرعة تقترب من سرعة الضوء؛ فقد يبدو أن تتابع الحدثين معكوسًا؛ أي أن الحدث (ب) يقع قبل الحدث (أ). فقد يصرح هذا المراقب أنه يمكن الانتقال من الحدث (ب) إلى الحدث (أ) إذا انتقلت بسرعة تفوق سرعة الضوء. وفي الواقع إذا تحركت فعلًا بسرعة فإنك قد تعود من (أ) إلى بروكسيما سنتاوري قبل نهاية السباق، وتراهن على من يكسب متأكدًا من معرفتك بمن سيربح السباق.

وهناك مشكلة تتعلق بتخطي حاجز سرعة الضوء، تنص النظرية النسبية على أن طاقة الصاروخ اللازمة لتسارع سفينة الفضاء تصبح أكبر كلما اقتربنا من سرعة الضوء. ولدينا دليل تجريبي على ذلك، ليس مع سفينة الفضاء بل في عملية تسارع الجسيمات الأولية في معجلات الجسيمات، مثل تلك التي في «فيرميلاب Fermilab»، أو في المركز الأوروبي للبحوث النووية (European Centre for Nuclear Research CERN). ويمكننا إحداث تسارع للجسيمات حتى سرعة تصل إلى ٩٩,٩٩٪ من سرعة الضوء؛ لكن مهما استخدمنا من طاقة فلن نستطيع تخطي حاجز سرعة الضوء. إذ إن السفر في الماضي يمكن أن يحدث فقط إذا كان من الممكن السفر أسرع من الضوء، وهو الأمر الذي ينفي إمكانية السفر السريع في الفضاء والسفر في الماضي.

غير أن هناك طريقة للخروج من هذا المأزق، فقد يكون من الممكن ثني الزمكان والعثور على طريق مختصر بين (أ) و(ب).

وإحدى الطرائق للوصول إلى ذلك هو تكوين ثقب دودي (على شكل دودة) (Wormwhole) بين (أ) و(ب). وكما يدل عليه اسمه فإن الثقب الدودي أنبوبة رقيقة من الزمكان يمكن أن تربط بين منطقتين مستويتين وبعيدتين. ويشبه الأمر إلى حد ما أن تقف على قاعدة سلسلة من الجبال، ولكي تصل إلى الناحية الأخرى من الجبل فإن عليك أن

تسق مسافة كبيرة إلى أعلى، ثم تهبط إلى أسفل، إلا إذا كان هناك ثقب دودي يقطع صخور حس أفقيًا. ومن الممكن أن نتصور وجود ثقب دودي يقودنا من المجموعة الشمسية إلى روكسيما سنتاوري، وقد تكون المسافة خلال الثقب الدودي بضعة ملايين من الأميال حسب، على الرغم من أن المسافة بين الأرض وبروكسيما سنتاوري هي عشرون مليون مليون ميل في الفضاء العادي، فإذا نقلنا أخبار سباق المائة متر خلال الثقب الدودي؛ فقد يكون لدينا كثير من الوقت للوصول قبل افتتاح اجتماع الكونجرس. لكن بالنسبة لمراقب يتحرك نحو الأرض؛ فلابد أن يكون قادرًا على العثور على ثقب دودي آخر، يسمح له بالسفر من لحظة بداية الكونجرس على بروكسيما سنتاوري عائدًا إلى الأرض قبل أن يبدأ السبق، وهكذا فإن الثقوب الدودية مثل أي صورة أخرى للسفر أسرع من الضوء يمكن أن تسمح لنا بالسفر في الماضي.

وليست فكرة الثقوب الدودية بين مناطق الزمكان المختلفة من اختراع كتاب الخيال العلمي؛ لكنها جاءت من مصادر موثوقة، ففي سنة ١٩٣٥ كتب أينشتاين وناثان روزين (Nathan Rosen) مقالًا بينا فيه أن النسبية العامة تسمح بوجود ما يسمى بالجسور، والتي نسميها الآن بالثقوب الدودية. ولم تستمر جسور أينشتاين — روزين طويلا بما يكفي لسفر سفينة فضاء من خلالها، فستصل السفينة إلى حالة تفرد حيث سينغلق الثقب الدودي. ومع ذلك فقد اقترح الإبقاء على الثقب الدودي مفتوحًا بواسطة حضارة متقدمة. ولإنجاز ذلك أو لثني الزمكان بأي طريقة أخرى ليسمح بالسفر عبر الزمن؛ فمن الممكن إثبات أنك تحتاج إلى منطقة من الزمكان تحدبها سالب، فيما يشبه سطح سرج الحصان. وتضفي المادة العادية ذات الطاقة الموجبة تحدبًا موجبًا على الزمكان مثل سطح الكرة، وعليه فإن المطلوب لتتمكن من ثني الزمكان ليسمح لنا بالسفر عبر الماضي؛ هو مادة لها كثافة طاقة سالبة للسفر في الماضي.

ما الذي تعنيه كثافة طاقة سالبة؟ فالطاقة تشبه إلى حد ما النقود: فإذا كان رصيدك موجبًا يمكنك توزيعه بطرائق مختلفة، ولكن وفقًا للقوانين التقليدية التي كانت سائدة منذ قرون؛ لم يكن مسموحًا لك بأن تجعل حسابك مكشوفًا. ومن ثم فإن هذه القوانين التقليدية لن تسمح بوجود كثافة طاقة سالبة، وعليه ليس هناك أي إمكانية للسفر في الماضي. لكن كما

شرحنا في فصول سابقة؛ فإن هذه القوانين التقليدية قد طمستها القوانين الكمية المبنية على مبدأ عدم التيقن (Uncertainity Principle). فالقوانين الكمية أكثر تحررًا، وتسمح لنا بالسحب على المكشوف من أكثر من حساب، بشرط أن يكون الرصيد الكلي موجبًا. وبعبارة أخرى فإن نظرية الكم تسمح بكثافة طاقة سلبية في بعض الأماكن، على حساب كثافة طاقة إيجابية في أماكن أخرى، بشرط أن تظل الكثافة الكلية للطاقة موجبة. وبذلك فإن لدينا من الأسباب ما يجعلنا نعتقد أن كلًا من التواء الزمكان وتحدبه بالشكل الضروري للسماح بالسفر عبر الزمان ممكن.

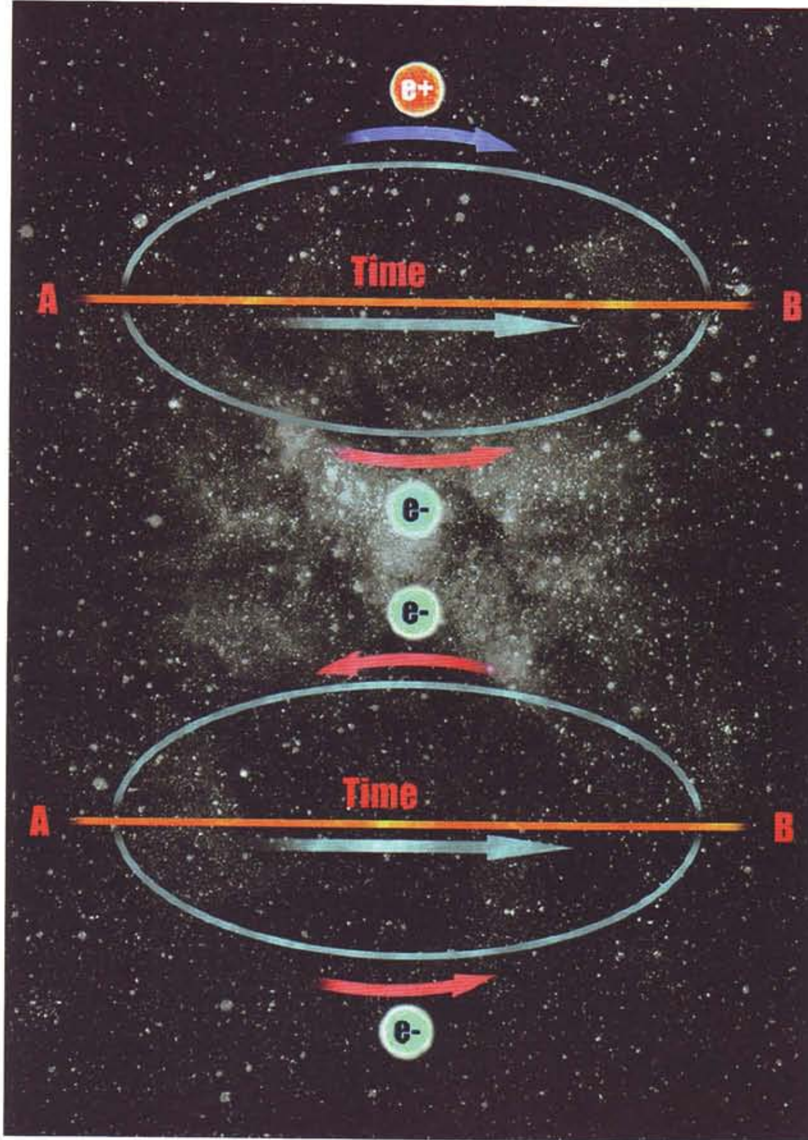


الثقب الدودي
إذا كانت الثقوب الدودية موجودة؛ فإنها ستزودنا بطرق مختصرة بين النقاط البعيدة في الفضاء.

ووفقًا لفينمان فإن السفر عبر الزمن في الماضي يحدث بطريقة أو بأخرى على مستوى جسيمة مفردة، ففي طريقة فينمان يعد تحرك جسيمة عادية إلى الأمام في الزمن مكافئًا لتحرك جسيمة مضادة إلى الخلف في الماضي. ويمكنك أن ترى في رياضيات فينمان أن زوجًا من الجسيمة/ الجسيمة المضادة اللتين تتكونان معًا ليلاشي كل منهما الآخر على شكل جسيمة مفردة تتحرك في حلقة مغلقة في الزمكان. ولإدراك ذلك، علينا أن نرى هذه العملية أولًا بالطريقة التقليدية، ففي زمن معين ـ وليكن الزمن(أ) ـ تكونت جسيمة وجسيمة مضادة، وكانت كلتاهما تتحرك إلى الأمام في الزمن، ثم في وقت لاحق – وليكن (ب) – تتفاعلان

ـ.ز ـ حرى وتلاشي كل منهما الأخرى. فقبل الزمن (أ) وبعد الزمن (ب) ليس هناك أي ـسجسـ . ووفقًا لفينمان؛ يمكن النظر إلى ذلك بطريقة مختلفة، ففي اللحظة (أ) تتكون جسيمة ـمـ دة. تتحرك الجسيمة إلى الأمام إلى لحظة الزمن (ب)، ثم تعود مرة أخرى إلى اللحظة (أ). ، ـ ـلا من جسيمة وجسيمة مضادة تتحركان إلى الأمام في الزمن معًا، هناك جسيمة مفردة تتحرك في «حلقة» من اللحظة (أ) إلى (ب)، ثم تعود مرة أخرى من (ب) إلى (أ) وعندما تتحرك من (أ) إلى (ب) فإنها تسمى جسيمة [من اللحظة (أ) إلى اللحظة (ب)]، ولكن إذا تحركت من (ب) إلى (أ) إلى الخلف في الزمن فستظهر كجسيمة مضادة تسافر إلى الأمام في ـزمن.!!

ومن الممكن أن يؤدي مثل هذا السفر في الزمن إلى ظواهر يمكن مشاهدتها. فلنفترض ـ ـ ن جسيمة من الزوج جسيمة/ جسيمة مضادة (ولتكن الجسيمة المضادة) تسقط في نقب أسود تاركة الجسيمة الأخرى من دون رفيق تتلاشى معه، وقد تسقط الجسيمة المتبقية في الثقب الأسود كذلك، وقد تتمكن من الهرب من منطقته، وإذا حدث ذلك فسيبدو ـ مر لمشاهد على مسافة من الثقب الأسود؛ وكأن الجسيمة قد انطلقت من الثقب الأسود. ، قد تحصل على أي حال على صورة جسيمة مختلفة، لكنها مكافئة لآلية انبعاث الإشعاع ـ الثقب الأسود. ويمكن افتراض أن الجسيمة التي سقطت في الثقب الأسود (ولتكن الجسيمة المضادة) جسيمة مسافرة في ماضي الزمان منبعثة من الثقب الأسود، وعندما تصل ـ مور إلى النقطة التي يظهر عندها زوج الجسيمة/ الجسيمة المضادة معًا؛ فإنه سيتشتت ـعن مجال جاذبية الثقب الأسود ليظهر كجسيمة مسافرة إلى مستقبل الزمن، وهاربة من ـقب الأسود. أو إذا كانت الجسيمة هي التي سقطت في الثقب الأسود بدلًا من ذلك؛ فمن ـمكن عدها جسيمة مضادة مسافرة في ماضي الزمان، وقادمة من الثقب الأسود. وهكذا ـ ـ إشعاعات الثقوب السوداء توضح أن نظرية الكم تسمح بالسفر في ماضي الزمان على ـستوى الميكروسكوبي.



جسيمة مضادة على طريقة فينمان
يمكن معاملة جسيمة مضادة على أنها جسيمة مسافرة في ماضي الزمان.
وبذا فإن زوجًا خائليًا من جسيمة/جسيمة مضادة يمكن عده جسيمة
تتحرك في حلقة مقفلة من الزمكان

ولذا يمكننا أن نتساءل ما إذا كانت نظرية الكم تسمح بإمكانية بناء آلة الزمن في نهاية المطاف، إذا ما تقدمنا في العلم والتكنولوجيا. وللوهلة الأولى يبدو الأمر ممكنًا، ويفترض أن تكون فرضية مجموع كل التواريخ لفينمان شاملة كل التواريخ حقًا، وبذلك فإنها لابد أن تتضمن التواريخ التي كان بها الزمكان محرفًا بشدة إلى الدرجة التي تجعل السفر في ماضي الزمان ممكنًا. ومع ذلك – وحتى إذا كانت قوانين الفيزياء المعروفة لا تلغي تمامًا فكرة السفر عبر الزمن فيما يبدو – فإن هناك من الأسباب ما يجعلنا نتساءل عن إمكانية حدوث ذلك.

وأحد التساؤلات هو: إذا كان السفر في الماضي ممكنًا؛ فلماذا لم يأت أحد من المستقبل ليخبرنا كيف نفعل ذلك؟ وقد يكون هناك أسباب معقولة توضح لماذا من غير المعقول إعطاؤنا أسرار السفر في الزمن، ونحن لا نزال على هذا المستوى البدائي من التطور. وحتى تتغير طبيعة البشر جذريًا، فمن الصعوبة أن نصدق أن زائرًا ما من المستقبل قد يأتي ليعبث بكل شيء، وبالتأكيد فإن بعض الناس سيدّعون أن مشاهدة الأطباق الطائرة الغريبة (UFO)(*) ما هو إلا دليل على أن هناك زوارًا قد جاؤوا إما من عالم آخر أو من المستقبل. (وبمعرفتنا للمسافات الشاسعة التي تفصل بين النجوم؛ فإنه لو قَدم إلينا أناس من كواكب أخرى في زمن معقول، فإنهم لابد أن يكونوا سافروا أسرع من الضوء، وعليه فالاحتمالان متكافئان). وأحد السبل المحتملة لتفسير غيبة زوار من المستقبل هو أن الماضي أمرٌ ثابت، لأننا قد شاهدناه ورأينا أنه ليس محرفًا بالشدة اللازمة، لإمكانية السفر في الماضي قدومًا من المستقبل. ومن جهة أخرى فإن المستقبل لا يزال مفتوحًا وغير معروف، وبذا فإنه قد يمتلك التحدب المطلوب، وقد يعني ذلك أن أي سفر عبر زمن هو سفر في المستقبل، ولن تكون هناك فرصة للكابتن كيرك (Captain Kirk) ولا سفينة الفضاء إنتربرايس(*) (Enterprice) للظهور في زماننا الحالي.

وقد يفسر ذلك أنه لا تأتينا موجات من السياح من المستقبل، ولكنه لن يجنبنا نوعًا آخر من المشاكل التي ستظهر لو كانت العودة إلى الماضي، وتغيير التاريخ ممكنة: ولماذا إذن ليس هناك مشكلة مع التاريخ؟ ولنفترض مثلًا أن أحدًا قد سافر في الماضي، وأعطى أسرار القنبلة الذرية للنازيين، أو أنك قد عدت إلى الماضي وقتلت جد جد جدك قبل أن يرزق بأطفال. وهناك العديد من هذه التناقضات؛ وكلها متكافئة في الأساس: سنعيش التناقضات إذا كان

(*) الحروف الأولى للتعبير باللغة الإنجليزية «الأجسام الطائرة غير المعروفة Unknown Flying Objects» [المترجمان].

(*) شخصية في مسلسل تليفزيوني شهير Star Trek كان قائدا لهذه السفينة الفضائية [المترجمان].

لنا حرية تغيير الماضي.

ويبدو أن هناك حلين ممكنين للتناقضات الملازمة للسفر عبر الزمن، يمكن تسمية الحل الأول مدخل ثابت التاريخ، ويعني ذلك أنه إذا كان الزمكان محرفًا بشدة إلى درجة أنه من المحتمل السفر عبر الماضي؛ فإن ما يحدث في الزمكان لابد أن يكون حلًا متمشيًا مع قوانين الفيزياء. وبعبارة أخرى — ووفقًا لوجهة النظر هذه — إنك لن تستطيع العودة إلى الماضي إلا إذا أظهر التاريخ أنك قد عدت حقًا، وفي أثناء وجودك في ماضي الزمن لم تقتل جد جدك؛ أو ترتكب أي أحداث أخرى تتعارض مع تاريخ وصولك إلى الحالة التي أنت عليها الآن. وإلى جانب ذلك عندما تسافر إلى الماضي فإنك لن تستطيع تغيير التاريخ المسجل، وستكون متابعًا له فحسب. وبهذا الشكل يكون الماضي والمستقبل مقدرين: ولن تكون حرًا لتفعل ما تريده بهما.

ومن الطبيعي أن تقول إن الإرادة الحرة هي خداع على أي حال، فإذا كانت هناك بالفعل نظرية فيزيائية شاملة تتحكم في كل شيء؛ فمن المفترض أنها تحدد أفعالك كذلك. لكنها تفعل ذلك بطريقة تجعل حسابها أو توقعها لأي كائن معقد مثل الإنسان مستحيلًا، وتتضمن عشوائية معينة ناتجة عن تأثيرات ميكانيكا الكم. وهكذا فإننا نقول إن الإنسان يملك إرادة حرة؛ لأننا لا نتمكن من التنبؤ بما سيفعله. فإذا انطلق إنسان في سفينة صاروخية، وعاد في زمن سابق على انطلاقه (سافر في الماضي)؛ فإننا نستطيع أن نتنبأ بما سيفعله، لأن كل ذلك جزء من التاريخ المسجل. وبذلك فإن السفر عبر الزمن لن يكون بأي حال من الإرادة الحرة.

والحل الآخر المحتمل للتناقضات الملازمة للسفر عبر الزمان يمكن تسميته بفرضية التواريخ البديلة، والفكرة أن المسافرين عبر الزمن إلى الماضي يدخلون في تواريخ مغايرة للتواريخ المسجلة؛ وبذا فإنهم أحرار في التصرف كما يشاؤون دون قيود على التطابق مع التاريخ السابق. وقد استخدم ستيفان سبيلبرج[*] (Steven Spielberg) هذا المفهوم ببراعة في فيلمه «العودة إلى المستقبل Back to the Future»، إذ استطاع الممثل مارتي ماك فلاي (Marty McFly) أن يعود إلى الماضي ليغير مدة خطوبة والديه إلى قصة أفضل.

(*) مخرج عالمي

وتبدو فرضية التواريخ البديلة مثل طريقة ريتشارد فينمان في التعبير عن نظرية الكم بوصفه مجموعًا لكل التاريخ التي وردت في الفصل التاسع، وتنص هذه الفرضية على أنه ليس للكون تاريخ واحد؛ بل له كل التواريخ الممكنة، إذ يكون لكل منها درجة احتماله. لكن يبدو أن هناك اختلافًا مهمًا بين اقتراح فينمان والتواريخ البديلة؛ ففي مجموع فينمان يحتوي كل تاريخ على زمكان شامل لكل شيء، وقد يكون الزمكان محرفًا بشدة إلى درجة أنه من الممكن السفر في صاروخ إلى الماضي. وقد يظل الصاروخ في الزمكان نفسه، ومن ثم في التاريخ نفسه الذي لابد أن يكون مطابقًا للتاريخ المعروف، وبذلك يبدو أن اقتراح فينمان لمجموع كل التواريخ يؤيد فرضية التواريخ المتطابقة، وليست فكرة التواريخ البديلة.

ومن الممكن تجنب هذه المشاكل إذا تبنينا فكرة يمكن أن نطلق عليها «حدس حماية التسلسل الزمني Chronology Protection Conjecture»، وهي تنص على أن قوانين الفيزياء تعمل على منع الأجسام الكبيرة من نقل المعلومات إلى الماضي. لم تثبت صحة هذا الحدس، لكن هناك من الأسباب ما يجعلنا نعتقد بصحته، والسبب هو أنه عندما يكون الزمكان محرفًا بشدة إلى الدرجة التي تكفي لإمكانية السفر عبر الزمان؛ فإن الحسابات التي تقوم على نظرية الكم تظهر أن: أزواج الجسيمات/ الجسيمات المضادة التي تدور باستمرار في حلقة مقفلة يمكن أن تولد كثافة طاقة كبيرة، بما يكفي لتحدب الزمكان إيجابيًا، الأمر الذي يناقض الانحراف الشديد الذي يسمح بالسفر عبر الزمن. ولأن الأمر على هذا الشكل غير واضح بعد؛ فإن إمكانية السفر عبر الزمن لا تزال قائمة، لكن ننصحك ألا تراهن عليها؛ فإن خصمك في المراهنة قد يكون لديه مقدرة قراءة المستقبل التي ليست لديك.

١١

قوى الطبيعة وتوحيد الفيزياء

من الصعوبة بمكان تصميم نظرية موحدة لكل شيء في الكون مرة واحدة، كما شرحنا في الفصل الثالث. وقد تقدمنا بعض الشيء وذلك بالعثور على نظريات جزئية تصف مدى محدودًا من الأحداث، مع إهمال الظواهر الأخرى، أو تقريبها إلى أعداد معينة بدلًا من ذلك. وتضم القوانين العلمية اليوم كما نعرفها عددًا كبيرًا من الأعداد؛ فمثلًا قيمة الشحنة الكهربية للإلكترون، ونسبة كتلة البروتون والإلكترون: هي أعداد لا نستطيع التنبؤ بها باستخدام النظريات حتى الآن على الأقل. وبدلًا من ذلك علينا أن نجد هذه الأعداد بالملاحظة، ثم ندخلها في المعادلات. ويطلق بعضهم على هذه الأعداد اسم الثوابت الأساسية، بينما يطلق آخرون عليها اسم عوامل غير صحيحة (زائفة). ومهما كانت وجهة نظرك فإن الحقيقة الجديرة بالملاحظة هي أن قيمة تلك الأعداد تبدو وقد أوقفت تمامًا لتسمح بتطور الحياة؛ فمثلًا إذا اختلفت شحنة الإلكترون بقيمة ضئيلة؛ فإن ذلك كان لابد أن يؤدي إلى إفساد توازن القوى الكهرومغناطيسية والجاذبية في النجوم، أو أنها قد لا تتمكن من حرق الهيدروجين والهليوم، أو بمعنى آخر لم تكن هذه النجوم لتنفجر، وإذا حدث أي من الأمرين فلن تقوم الحياة. ونحن نأمل في نهاية المطاف التوصل إلى نظرية موحدة شاملة ومتوافقة، وتتضمن كل هذه النظريات الجزئية مقربة، ولا تحتاج إلى تعديل حتى تناسب الحقائق بإدخال قيم لأعداد مختارة في النظرية مثل شحنة الإلكترون.

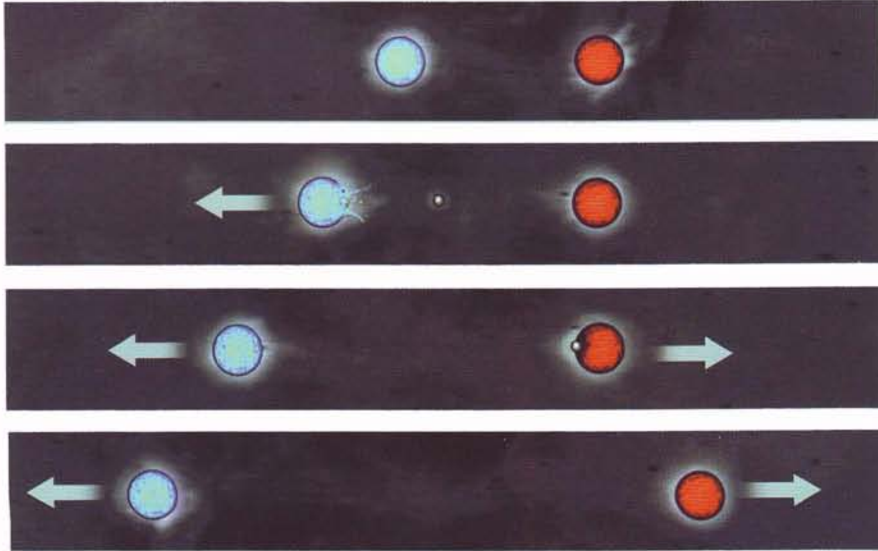
ويسمى البحث عن مثل هذه النظرية توحيد الفيزياء، وقد أمضى أينشتاين معظم سنواته الأخيرة في البحث عن النظرية الموحدة من دون جدوى، لكن لم يكن الوقت قد حان بعد: كانت هناك نظريات جزئية للجاذبية وللقوى الكهرومغناطيسية، بينما لم يكن معروفًا عن القوى النووية إلا القليل. وكان أينشتاين فوق ذلك يرفض الاعتراف بواقعية ميكانيكا الكم كما سبق أن ذكرنا في الفصل التاسع. إلا أنه يبدو أن مبدأ عدم التيقن سمة أساسية للكون الذي نعيش فيه، ولذلك للعثور على نظرية موحدة ومتوافقة لابد أن تتضمن مبدأ عدم التيقن.

ويبدو أن أمل العثور على مثل هذه النظرية الآن أفضل كثيرًا، لأننا أصبحنا نعرف أكثر عن الكون. لكن علينا أن نحترس من الثقة الزائدة، فقد سبق أن خُدعنا أكثر من مرة من قبل! فمثلًا في بداية القرن العشرين كان الاعتقاد السائد أنه يمكن تفسير كل شيء بمعلومية خواص استمرارية المادة، مثل المرونة والتوصيل الحراري. لكن اكتشاف التركيب الذري ومبدأ عدم التيقن قد وضع نهاية مؤكدة لذلك. ومرة أخرى وفي سنة ١٩٢٨ أخبر الفيزيائي الحائز على جائزة نوبل ماكس بورن Max Born مجموعة من زوار جامعة جوتنجن Göttingen بأنه: «ستنتهي الفيزياء التي نعرفها في خلال ستة أشهر». كانت هذه الثقة مبنية على اكتشافات ديراك Dirac الحديثة للمعادلة التي تتحكم في الإلكترون، وكان هناك اعتقاد بأن معادلة شبيهة تحكم البروتون، وهو الجسيمة الثانية في الذرة في ذلك الوقت، وهو ما كان من المفترض أن يمثل نهاية الفيزياء النظرية، إلا أن اكتشاف النيوترون والقوى النووية قد قضى على هذه الفكرة جملة وتفصيلًا. وعلى الرغم من كل ما ذكرنا فإن هناك أساسًا لتفاؤل حذر بأننا نقترب من نهاية البحث عن القوانين النهائية للطبيعة.

ومن المفترض في ميكانيكا الكم أن القوى أو التدخلات بين الجسيمات تحدث بفعل جسيمات. والذي يحدث هو أن الجسيمات المادية مثل الإلكترون أو الكوارك Quark، تطلق جسيمات حاملة للقوى. ونتيجة لهذا الإشعاع تتغير سرعة الجسيمة المادية، تمامًا للسبب نفسه الذي يجعل المدفع يتراجع إلى الخلف عند إطلاق القذيفة، تتصادم بعد ذلك الجسيمات الحاملة للقوى مع جسيمات مادية أخرى وتُمْتَصُّ، مما يغير من حركة هذه الجسيمات المادية. والمحصلة النهائية لعمليات الإشعاع والامتصاص هي نفسها كما لو كانت هناك قوة بين

الجسيمتين الماديتين.

وتنتقل كل قوة بمساعدة نوع متميز خاص من الجسيمات الحاملة للقوى، فإذا كانت الجسيمات الحاملة للقوى كبيرة الكتلة فإنه من الصعب أن تنتج، أو يمكن تبادلها عبر مسافات بعيدة، وفي هذه الحالة فإن القوى التي تحملها ستكون قصيرة المدى فقط. وعلى الجانب الآخر إذا كانت الجسيمات الحاملة للقوى بلا كتلة ذاتية؛ فإن القوى ستكون بعيدة المدى، ويقال للجسيمات الحاملة للقوى التي يتم تبادلها بين الجسيمات المادية بأنها «جسيمات خائلية Virtual particles»، لأنها لا يمكن اكتشافها مباشرة - على عكس الجسيمات الحقيقية - باستخدام مكتشف الجسيمات. إلا أننا نعرف أنها موجودة لأن لها تأثيرًا محسوسًا، فهي تتسبب في نشوء القوى بين الجسيمات المادية.



تبادل الجسيمات
وفقًا للنظرية الكمية تنشأ القوى من تبادل الجسيمات الحاملة للقوى

ويمكن تقسيم الجسيمات الحاملة للقوى إلى أربعة أنواع، ولابد هنا من تأكيد أن هذا التقسيم من صنع الإنسان؛ لأنه يلائم تركيب النظريات الجزئية، ولا يعبر عن أي شيء أبعد من ذلك. ويأمل معظم الفيزيائيون في النهاية أن يعثروا على نظرية موحدة تفسر كل القوى بوصفها سمات مختلفة لقوة واحدة. ومن المؤكد أن كثيرًا من الناس يرون أن ذلك هو الهدف الأساسي للفيزياء اليوم.

والنوع الأول هو قوة الجاذبية، وهي قوة عالمية بمعنى أن كل جسيمة تشعر بقوة الجاذبية وفقًا لكتلتها أو طاقتها. وتصور قوة الجاذبية على أن سببها تبادل جسيمات خائلية تسمى جرافيتون Graviton. والجاذبية أضعف القوى الأربع، وهي أضعفهم بكثير جدًا، وهي من الضعف بحيث لا نلاحظها لولا خاصيتين تتميز بهما؛ الأولى أنها تؤثر في مسافات بعيدة، والثانية أنها دائمًا جذابة. ويعني ذلك أن قوى الجاذبية الضعيفة جدًا بين الجسيمات المفردة في جسيمين كبيرين مثل الأرض والشمس، تتجمع لينتج عنها قوة محسوسة. أما القوى الثلاث الأخرى فهي إما قصيرة المدى أو أنها في بعض الاحيان جاذبة وفي بعضها الآخر نافرة مما يؤدي إلى تلاشيها بفعل بعضها بعضًا.

والنوع الثاني من القوى هو القوة الكهرومغناطيسية، التي تتداخل مع الجسيمات المشحونة كهربيًا مثل الإلكترونات والكواركات، لكنها لا تتداخل مع الجسيمات غير المشحونة مثل النيوترونات. وهي أقوى كثيرًا من قوة الجاذبية: فالقوة الكهرومغناطيسية بين إلكترونين تصل إلى نحو مليون مليون مليون مليون مليون مليون مليون (العدد ١ متبوعًا باثنين وأربعين صفرًا من اليمين) مرة أكبر من قوة الجاذبية. وإلى جانب ذلك فإن هناك نوعين من الشحنة الكهربية: موجبة وسالبة، والقوة بين شحنتين موجبتين قوة تنافر، وكذلك بين شحنتين سالبتين، لكن القوة بين شحنة موجبة وأخرى سالبة فهي قوة تجاذب.

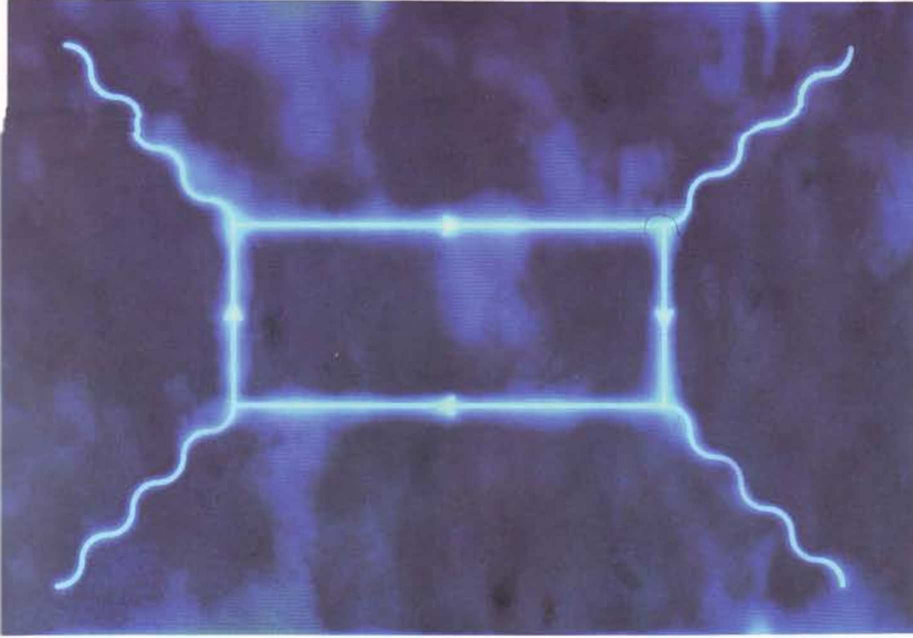
وتحتوي الأجسام الكبرى مثل الأرض والشمس على أعداد متساوية تقريبًا من الشحنات الموجبة والسالبة، وبذا فإن قوى التجاذب والتنافر بين الجسيمات المفردة تعادل بعضها بعضًا تقريبًا، إذ لا يبقى إلا أقل القليل من القوة الكهرومغناطيسية. إلا أن القوة الكهرومغناطيسية تسود على مستوى الذرات والجزئيات، وتتسبب قوى التجاذب الكهرومغناطيسية بين الإلكترونات سالبة الشحنة، والبروتونات موجبة الشحنة في النواة في دوران الإلكترونات

حول نواة الذرة، تمامًا كما تدور الأرض حول الشمس بفعل قوى الجاذبية. ويمكن تصور قوى الجذب الكهرومغناطيسي على أنها ناتجة عن تبادل عدد كبير من جسيمات خائلية تسمى فوتونًا Photon. ومرة أخرى نكرر أن الفوتونات التي تُتبادل هي جسيمات خائلية. وعلى العموم فإن انتقال إلكترون من مدار إلى مدار آخر أقرب إلى النواة يطلق طاقة، ويبعث فوتونًا حقيقيًا من الممكن رصده كضوء مرئي بالعين البشرية، إذا كان طول موجته مناسبًا، أو من الممكن رصده بأجهزة اكتشاف الفوتونات مثل الألواح الفوتوغرافية، وبالمثل إذا اصطدم فوتون حقيقي بذرة فإنه قد يتسبب في انتقال إلكترون من مدار قريب إلى مدار بعيد عن النواة، ويحدث ذلك بامتصاص الإلكترون لطاقة الفوتون.

ويسمى النوع الثالث من القوى بالقوى النووية الضعيفة. ونحن لا نحتك بهذه القوى في حياتنا اليومية. وهذه القوى هي المسئولة بوجه عام عن النشاط الإشعاعي – تفكك أنوية الذرات. لم تكن القوى النووية الضعيفة مفهومة جيدا قبل سنة ١٩٦٧، ففي هذه السنة اقترح عبد السلام من الكلية الإمبراطورية بلندن وستيفن وينبرج من جامعة هارفارد نظريات وحدت هذا التداخل مع القوى الكهرومغناطيسية، تماما كما وحد ماكسويل الكهربية والمغناطيسية منذ مائة عام، وقد توافقت جيدًا تنبؤات النظرية مع التجارب؛ الأمر الذي أدى إلى حصول كل من عبد السلام ووانبرج على جائزة نوبل في الفيزياء سنة ١٩٧٩، ومعهم شيلدون جلاشو Sheldon Glashow. وكان جلاشو من جامعة هارفارد قد اقترح نظريات مشابهة موحدة للقوى الكهرومغناطيسية والنووية الضعيفة.

أما النوع الرابع من القوى فهو أقواها، وتسمى القوة النووية القوية، وهي قوة أخرى لا نحتك بها مباشرة؛ لكنها القوة التي يتماسك بفضلها معظم عالمنا اليوم. فهي المسؤولة عن ترابط الكواركات مع بعضها في البروتونات والنيوترونات، وهي المسؤولة عن ترابط البروتونات والنيوترونات معًا في نواة الذرة. ومن دون القوى القوية كان التنافر الكهربي بين البروتونات موجبة الشحنة سيمزق كل أنوية الذرات في العالم ماعدا غاز الهيدروجين الذي تحتوي نواته على بروتون واحد. ومن المعتقد أن هذه القوة محمولة على جسيمة تسمى جلون Gluon، ولا تتداخل إلا مع نفسها ومع الكواركات.

وقد أدى نجاح توحيد القوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية الضعيفة إلى عدد من المحاولات لتوحيد هاتين القوتين مع القوى النووية القوية، فيما عرف بالنظرية الموحدة العظمى (Grand Unified Theory GUT). ويحمل هذا العنوان بعض المبالغة: فالنظريات الناتجة ليست بهذه العظمة وليست موحدة تمامًا، فهي لا تحتوي على الجاذبية. وهي كذلك ليست نظريات شاملة في الواقع؛ لأنها تحتوي على عدد من المؤشرات لا يمكن التنبؤ بقيمتها من واقع النظرية، لكن لابد من اختيارها لتتلاءم مع التجربة. وعلى الرغم من ذلك فقد يكون الأمر كله خطوة على طريق الوصول إلى نظرية شاملة وموحدة كاملة.



شكل فينمان لزوج خائلي من جسيمة وجسيمة مضادة
يفرض مبدأ عدم التيقن عند تطبيقه على الإلكترون وجود أزواج
من الجسيمات والجسيمات المضادة الخائلية تنشأ وتتلاشى مع بعضها
حتى في المكان «الخالي»

وتكمن الصعوبة الرئيسية في العثور على نظرية توحد الجاذبية مع القوى الأخرى، في أن نظرية الجاذبية ـ النسبية العامة ـ هي النظرية الوحيدة التي ليست كمية: فهي لا تضع في حسبان مبدأ عدم التيقن. ولأن النظريات الجزئية للقوى الأخرى تعتمد على ميكانيكا الكم كثيرًا؛ فإن توحيد الجاذبية مع النظريات الأخرى لابد أن يتطلب العثور على طريقة لتضمين هذا المبدأ (مبدأ عدم التيقن) في النسبية العامة. لكن لم يتمكن أحد حتى الآن من التوصل إلى نظرية كمية للجاذبية.

ويرجع السبب في صعوبة التوصل إلى نظرية كمية للجاذبية إلى حقيقة أن مبدأ عدم التيقن يعني: أنه حتى المكان «الخالي» يمتلئ بأزواج من الجسيمات والجسيمات المضادة الخائلية. وإذا لم يكن الأمر كذلك ـ وكان المكان الخالي خاليًا تمامًا – فإن ذلك يعني أن كل المجالات مثل مجال الجاذبية والمجال الكهرومغناطيسي لابد أن تساوي الصفر تمامًا. وعلى كل فإن قيمة المجال ومعدل تغيره مع الزمن هي مثل موقع الجسيمة وسرعتها (أي تغير الموقع): فمبدأ عدم التيقن يتضمن أنه إذا عرفت إحدى هذه الكميات بدقة أكبر فإنك ستعرف الكمية الأخرى بدقة أقل، فإذا ثبتنا المجال في المكان «الخالي» عند الصفر ففي هذه الحالة سيكون له قيمة دقيقة (الصفر)، ومعدل تغير دقيق (الصفر)، وهو ما يتعارض مع مبدأ عدم التيقن،وعليه فلابد من حد أدنى من عدم التيقن أو التأرجح في قيمة المجال.

ومن الممكن أن نتخيل هذه التأرجحات كأزواج من الجسيمات التي تظهر معًا في لحظة ما، تتباعد ثم تعود لتلتقي وتلاشي بعضها بعضًا. وهي جسيمات خائلية مثل الجسيمات الحاملة للقوى: فهي تختلف عن الجسيمات الحقيقية فلا يمكن رصدها مباشرة باستخدام مكتشف الجسيمات. إلا أن تأثيرها غير المباشر مثل التغيرات الطفيفة في طاقة مدارات الإلكترونات يمكن قياسه،وتتفق هذه القياسات مع التنبؤات النظرية بدقة مدهشة، وفي حالة التأرجحات الكهرومغناطيسية فإن الجسيمات هنا هي فوتونات خائلية. أما في حالة تأرجحات مجالات القوى الضعيفة والقوى القوية فإن الأزواج الخائلية هي أزواج من جسميات مادية مثل الإلكترونات أو الكواركات وجسيماتها المضادة.

والمشكلة أن للجسيمات طاقة. ففي الحقيقة – ولأن هناك أعدادًا لا نهائية من أزواج الجسيمات الخائلية – لابد أن تكون كمية الطاقة لا نهائية، وتبعًا لمعادلة أينشتانين (راجع الفصل الخامس). $E = m C^2$ فإن ذلك يعني أن كتلتها لانهائية. ووفقًا للنسبية العامة فإن ذلك يعني أن جاذبيتها ستتسبب في تحدب الكون إلى حجم لانهائي من الصغر. ومن الواضح أن ذلك لا يحدث! وفيما يبدو تحدث لانهائيات أخرى غير منطقية وشبيهة بالنظريات الجزئية الأخرى - في حالة القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية - ولكن يمكن إزالة هذه اللا نهائيات بعملية تسمى إعادة التطبيع renormalization. وهذا ما جعلنا قادرين على وضع نظريات كمية لهذه القوى.

تتضمن عملية إعادة التطبيع إدخال لانهائيات جديدة لها تأثير يلاشي اللا نهائيات التي تظهر في النظريات، وعمومًا لاحاجة لأن تتلاشى تمامًا، فمن الممكن اختيار اللا نهائيات الجديدة بحيث تترك بعض البقايا الصغيرة، وتسمى هذه البقايا الصغيرة بالكميات المعاد تطبيعها في النظرية.

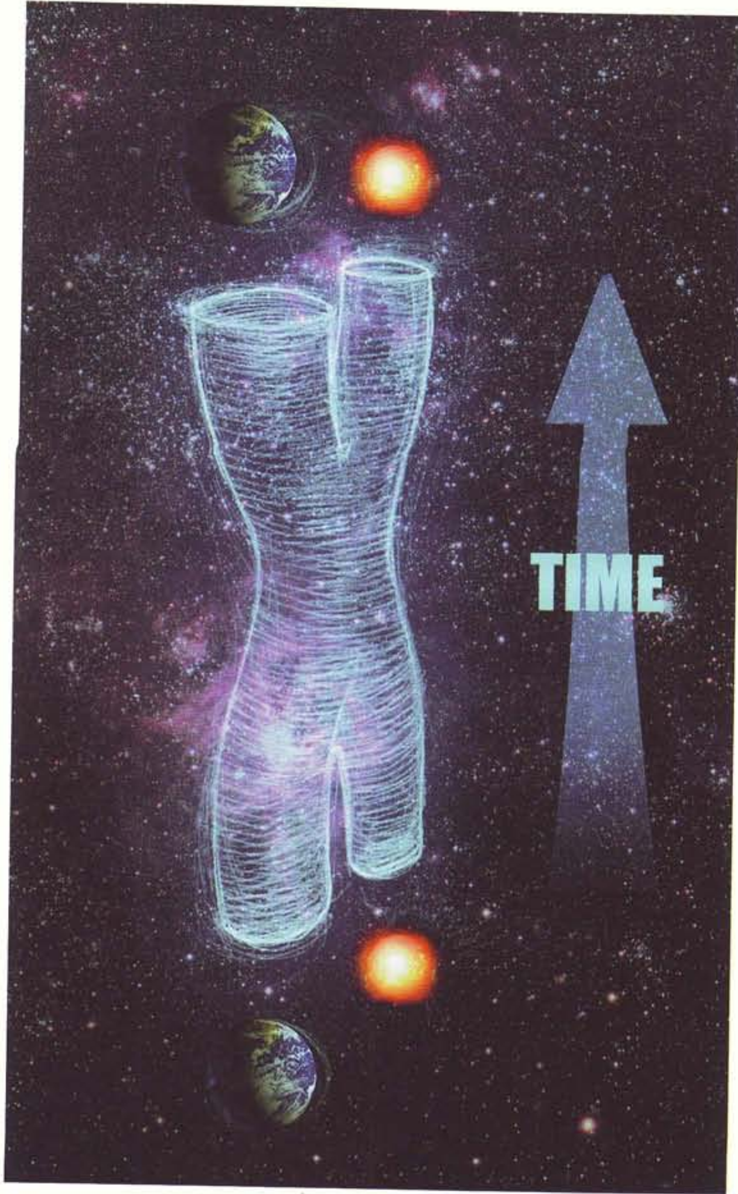
ومع أن هذه الطريقة عمليًا من المشكوك فيها رياضيًا لكنها تبدو صالحة، وقد استخدمت مع نظريات القوى القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية لعمل تنبؤات تتفق مع المشاهدات بدرجة غير عادية من الدقة. لكن لإعادة التطبيع عيبًا خطيرًا يظهر في أثناء محاولة العثور على نظرية شاملة؛ لأن ذلك يعني أن القيم الحقيقية للكتلة وشدة القوى لايمكن التنبؤ بها من النظرية، بل يجب اختيارها لتناسب المشاهدات. ولسوء الحظ فإننا لا نملك – عند محاولة استخدام إعادة التطبيع للتخلص من اللانهائيات الكمية من النسبية العامة – سوى كميتين يمكن تعديلهما: شدة الجاذبية وقيمة الثابت الكوني، وهو المصطلح الذي أدخله أينشتاين في معادلاته؛ لأنه ذهب إلى أن الكون لا يتمدد (راجع الفصل السابع). وكما اتضح فيما بعد فإن تعديل هاتين الكميتين ليس كافيًا للتخلص من كل اللانهائيات. وبذلك أصبحنا نمت نظرية كمية للجاذبية يبدو أنها تتنبأ بأن كميات معينة مثل تحدب الزمكان لانهائية في الواقع، إلا أن هذه الكميات يمكن رصدها وقياسها على أنها محددة تمامًا.

كانت مشكلة ربط النسبية العامة مع مبدأ عدم التيقن متوقعة مسبقًا، لكن الأمر أصبح مؤكدًا بالحسابات التفصيلية سنة ١٩٧٢، وبعد أربع سنوات اقترح حل ممكن أطلق عليه

اسم الجاذبية الفائقة Supergravity. ولسوء الحظ فإن الحسابات المطلوبة لاكتشاف ما إذا كانت هناك كميات لانهائية متبقية في الجاذبية الفائقة كانت في غاية الطول والتعقيد، الأمر الذي لم يكن أحد مستعدًا لفعله. وحتى باستخدام الكمبيوتر فمن المسلم به أن الأمر سيستغرق سنوات عديدة، مع وجود فرصة كبيرة لحدوث خطأ واحد على الأقل وربما أكثر. وهكذا فإننا لن نتأكد من صحة الحل إلا إذا أعاد أحدهم الحسابات ووصل إلى النتيجة نفسها، وهو الأمر الذي يبدو بعيد الاحتمال! وعلى الرغم من هذه المشاكل وحقيقة أن الجسيمات في نظريات الجاذبية الفائقة لايبدو أنها تتطابق مع الجسيمات التي نشاهدها حتى الآن؛ فإن معظم العلماء يرون أنه من الممكن تعديل النظرية، لتصبح بذلك هي الإجابة الصحيحة لمشكلة توحيد الجاذبية مع القوى الأخرى. وفي سنة ١٩٨٤ حدث تغيير كبير بالملاحظة للفكر المؤيد لنظرية الأوتار.

كان الاعتقاد السائد قبل نظرية الأوتار أن كل جسيمة أساسية تشغل نقطة مفردة في الفضاء، أما في نظرية الأوتار فإن الأجسام الأساسية ليست جسيمات على شكل نقاط، ولكنها أشياء لها أطوال وليس لها أبعاد أخرى، وتشبه قطعة متناهية من وتر. وقد يكون لهذه الأوتار نهايات (وتسمى الأوتار المفتوحة)، أو قد تكون على شكل عقد مغلقة (أوتار مغلقة) ترتبط نهاياتها ببعضها؛ وتشغل الجسيمة نقطة واحدة من الفضاء في كل لحظة من الزمن. ومن الممكن أن ترتبط قطعتا وتر ببعضهما لتكونا وترًا مفردًا؛ وفي حالة الأوتار المفتوحة فإنهما يرتبطان عند نهاياتهما، أما في حالة الأوتار المغلقة فإن الأمر سيكون مثل البنطلون، وبالمثل يمكن أن تنقسم قطعة مفردة من وتر إلى وترين.

فإذا كانت الجسيمات الأساسية في الكون أوتارًا، فما هي الجسيمات النقاط التي يبدو أننا نشاهدها في تجاربنا؟ وما كنا نظن أننا نشاهده كجسيمات نقاط مختلفة في الماضي، فإنها تصور في نظرية الأوتار الآن كموجات مختلفة على الوتر، مثل الموجات على خيط طائرة ورقية يتذبذب. إلا أن الأوتار والتذبذب المصاحب لها دقيقة إلى درجة أننا لا نتمكن من تحديد شكلها بكل ما نملك من تقنيات حديثة، ولذلك فهي تتصرف في كل تجاربنا كنقاط دقيقة بلا معالم. تخيل أنك تمعن النظر في بعض الغبار بالعين المجردة أو بعدسة مكبرة؛ فإنك قد تجد حبيبة ذات شكل غير منتظم، أو حتى على شكل يشبه الوتر، ولكن إذا نظرت عن بعد فإنها تبدو كنقطة بلا معالم.



شكل فينمان في نظرية الأوتار
ينظر إلى القوى البعيدة المدى في نظرية الأوتار على أنها نتيجة لارتباط الأنابيب بدلًا من تبادل الجسيمات الحاملة للقوى

وفي نظرية الأوتار فإن انبعاث جسيمة أو امتصاصها من قبل بواسطة أخرى يقابله انقسام الاوتار أو التحامها، فمثلاً صورت قوة جاذبية الشمس على الأرض في نظريات الجسيمات على أنها ناتجة عن انبعاث جسيمات حاملة للقوى، تسمى جرافيتونات من جسيمات مادية في الشمس وامتصاصها من قبل جسيمات مادية في الأرض. وتقابل هذه العملية في نظرية الأوتار أنبوبة أو أسطوانة على شكل حرف H (وبشكل ما فإن نظرية الأوتار تشبه السباكة). ويمثل الجانبان الرأسيان في الشكل H الجسيمات في الشمس والأرض، أما الجزء الأفقي في الحرف H فيمثل الجرافيتون الذي ينتقل فيما بينهما.

ولنظرية الأوتار تاريخ غريب، فقد ابتكرت أصلًا في أواخر الستينيات من القرن العشرين في أثناء محاولة العثور على نظرية تصف القوى القوية، والفكرة هنا أن الجسيمات مثل البروتونات والنيوترونات يمكن عدها موجات على الوتر. وقد تقابل القوى القوية بين الجسيمات قطعًا من الأوتار تداخلت مع قطع أخرى من الأوتار، على شكل بيت من العنكبوت، وحتى تعطي هذه النظرية القيم التي نشاهدها للقوة بين الجسيمات لابد للأوتار أن تكون مثل حلقة مطاطية قوة الشد فيها تصل إلى ما يقرب من عشرة أطنان.

في سنة ١٩٧٤ نشر كل من چويل شيرك Joel Scherk، من الإيكول نورمالي سوبريير في باريس، وچون شفارتز John Schwartz من معهد كاليفورنيا للتقانة بحثًا، أوضحا فيه أن نظرية الأوتار يمكن أن تصف طبيعة قوة الجاذبية في حالة واحدة فحسب؛ عندما يكون الشد في الوتر ألف مليون مليون مليون مليون مليون مليون طن (الرقم ١ متبوعًا بتسعة وثلاثين صفرًا). وستكون تنبؤات نظرية الأوتار هي نفسها تنبؤات النسبية العامة في المدى العادي للأطوال؛ لكنها ستختلف في المسافات الأقصر التي تقل عن جزء من ألف مليون مليون مليون مليون جزء من السنتيمتر (أي السنتيمتر مقسومًا على العدد ١ متبوعًا بثلاثة وثلاثين صفرًا). لم يلق هذا البحث ما يستحقه من عناية؛ لأنه في الوقت نفسه تخلى معظم الناس عن نظرية الأوتار الأصلية للقوى القوية، لمصلحة النظرية المبنية على الكواركات والجلونات، والتي بدت كأنها أكثر ملائمة لما يشاهدونه. توفي شيرك في ظروف مأساوية (فقد كان يعاني من مرض البول السكري، ودخل في غيبوبة، ولم يكن أحد بجواره ليعطيه حقنة الأنسولين)، وبقي شوارتز هو المؤيد الوحيد لنظرية الأوتار التي اقترحت قيمًا أعلى

كثيرًا للشد في الأوتار.

وفي عام ١٩٨٤ عاد الاهتمام مرة أخرى بنظرية الأوتار؛ ويبدو أن ذلك قد حدث لسببين: السبب الأول أنه لم يحدث أي تقدم حقيقي يثبت أن الجاذبية الفائقة محدودة، أو أنها يمكن أن تفسر أنواع الجسيمات التي نشاهدها. أما السبب الثاني فهو ظهور بحث آخر لجون شوارتز، وكان هذه المرة بمشاركة مايك جرين Mike Green من كلية الملكة ماري بلندن. وقد بين هذا البحث أنه من الممكن تفسير وجود الجسيمات يسارية البنية بطبيعتها مثل بعض الجسيمات التي نشاهدها. (قد يكون مسلك معظم الجسيمات هو نفسه لو غيرت ظروف التجربة، وذلك بوضع هذه الجسيمات أمام مرآة، إلا أن المسلك سيتغير. وسيبدو الأمر وكأن هذه الجسيمات إما أن تكون يسارية أو يمينية الكفية بدلًا من أن تكون ذات اتجاهين). ومهما كانت الأسباب فإن عددًا كبيرًا من العلماء سرعان ما بدأ البحث في نظرية الأوتار، مما جعل صورة جديدة تظهر لهذه النظرية، والتي بدا وكأنها قادرة على تفسير أنواع الجسيمات التي نرصدها.

وتؤدي نظريات الأوتار هي الأخرى إلى لا نهائيات؛ لكن من المعتقد أنها تلاشي بعضها في الصورة الحقيقية على الرغم من أن ذلك ليس معروفًا بالتأكيد. غير أن هناك مشكلة كبرى في نظريات الأوتار: فهي تبدو متوافقة إذا كان للزمكان عشرة أو ستة وعشرين بعدًا بدلًا من الابعاد العادية الأربعة! ومن الطبيعي أن تصبح الأبعاد الإضافية للزمكان مرتعًا شائعًا للخيال العلمي. ومن المؤكد أن تزودنا هذه الأبعاد الإضافية بطريقه مثاليه للتغلب على القيود العادية. التي تفرضها النسبية العامة على السفر أسرع من الضوء أو في ماضي الزمان (راجع الفصل العاشر). وتكمن الفكرة في اتخاذ طريق مختصر عبر الأبعاد الإضافية، ويمكن تصور ذلك فيما يلي: تخيل أن الفضاء الذي نعيش فيه ذو بعدين اثنين، وأنه يتحدب مثل سطح حلقة المرساة أو الكعكة المستديرة، فإذا كنت على الجانب الداخلي من الحلقة، وترغب في الانتقال إلى نقطة مواجهة على الجانب الآخر من الحلقة، فإن عليك أن تتحرك في دائرة على طول الحافة الداخلية للحلقة إلى أن تصل إلى نقطة الهدف، إلا أنه إذا استطعت الانتقال في البعد الثالث فإنك تستطيع مغادرة الحلقة، وقطع الطريق المختصر عبر الحلقة إلى الجانب الآخر.

ولماذا لا نلاحظ كل هذه الأبعاد الإضافية إذا كانت موجودة بالفعل؟ ولماذا لا نرى إلا ثلاثة أبعاد مكانية وبعدًا واحدًا زمانيًا؟ ويمكن تفسير ذلك بأن الأبعاد الأخرى ليست كالأبعاد التي نألفها. فهي محدبة في فراغ ضئيل الحجم في حدود جزء من مليون مليون مليون مليون مليون جزء من البوصة، وهو من الصغر بحيث لا يمكن ملاحظته، فنحن لا نرى إلا بعدًا واحدًا للزمن، وثلاثة أبعاد مكانية إذ الزمكان مسطح بشكل معقول. وحتى نتصور كيف تعمل هذه الأبعاد فلنتخيل ماصة من القش، فإذا نظرت إليها عن قرب شديد سترى أن سطحها ثنائي الأبعاد، ويعني ذلك أن أي نقطة على سطح الماصة تتحدد برقمين هما: المسافة على طول الماصة، والمسافة على محيطها الدائري. غير أن البعد الدائري أصغر كثيرًا من البعد الطولي للماصة، ولذلك إذا نظرت إلى الماصة من بعد فإنك لن ترى سُمك الماصة، وستظهر وكأنها أحادية البعد؛ أي أنه لكي تصف موقع نقطة عليها يكفي أن نذكر المسافة الطولية على طول الماصة. ولذا فإن نظريات الأوتار تنص على أنه للزمكان عشرة أبعاد محدبة بدرجة كبيرة على المستوى الصغير جدًا، لكن على المستوى الأكبر فإنك لن ترى التحدب أو الأبعاد الإضافية.

وإذا كانت هذه الصورة صحيحة فإنها تحمل أنباء سيئة لمن يرغب في السفر عبر الزمان؛ فالأبعاد الإضافية من الصغر البالغ بحيث لا تسمح لسفينة الفضاء بالانتقال خلالها. وإلى جانب ذلك فإنها ستثير مشكلة كبرى للعلماء؛ لماذا تتجعد بعض الأبعاد وليس كلها على شكل كرة صغيرة؟ من المفترض أن كل الأبعاد كانت شديدة التحدب في الكون المبكر جدًا. لكن لماذا تسطّح بعد زماني واحد وثلاثة أبعاد مكانية فحسب، بينما ظلت بقية الأبعاد مجعدة ومتماسكة؟

إحدى الإجابات المحتملة هي ما يسمى بالمبدأ البشري، والذي يمكن صياغته على النحو الآتي: «نحن نرى الكون بالشكل الذي نراه لأننا موجودون». وهناك صورتان للمبدأ البشري: الصورة الضعيفة والصورة القوية، تنص الصورة الضعيفة للمبدأ البشري على أنه في كون ضخم أو لانهائي في المكان و/أو الزمان؛ فإن الظروف الضرورية لتطور الحياة الذكية يمكن أن تتحقق في مناطق معينة محدودة في الزمان والمكان. وعلى الكائنات الذكية في هذه المناطق ألا تندهش إذا لاحظت أن وجودها في الكون يحقق الظروف اللازمة لوجودها.

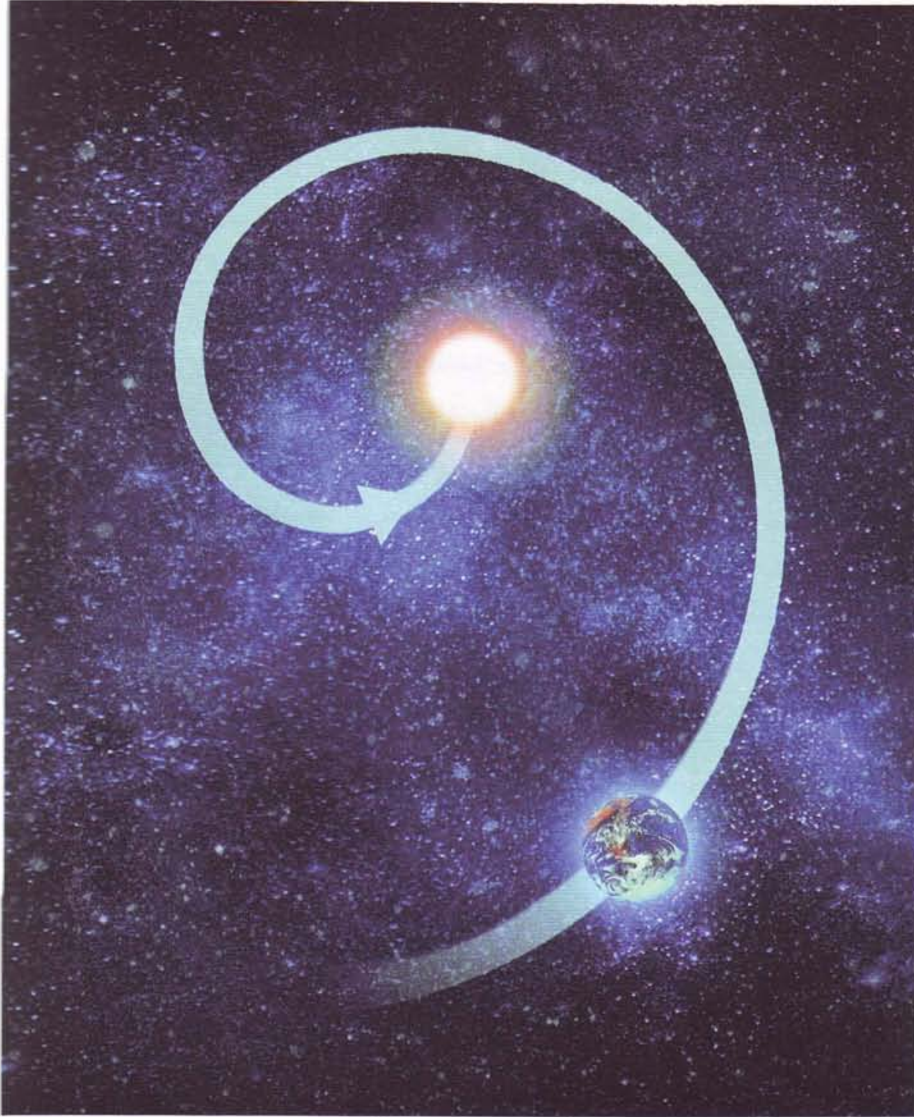
ويشبه ذلك إلى حد ما شخصًا غنيًا يعيش في ضاحية راقية ولا يرى أي مظهر للفقر.

ويذهب بعضهم أبعد كثيرًا من ذلك، ويقترحون صورة قوية للمبدأ البشري ووفقًا لهذه الصورة فهناك إما عدد كبير لعوالم مختلفة، أو مناطق عديدة مختلفة من عالم واحد، إذ يكون لكل واحد منها هيئته الأولية الخاصة، وربما له مجموعة قوانين علمية خاصة به. وقد لا تكون الظروف متاحة في معظم هذه العوالم لتطور كائنات معقدة، إلا في قليل منها، مثل العالم الذي نحن منه، يتطور فيه كائنات ذكية لتطرح السؤال التالي: «لماذا يبدو العالم على هذه الصورة التي نراها»؟ والإجابة ببساطة هي: إذا كان الأمر مختلفًا لَما كنا هنا!
وقد لا يتفق بعض الناس مع مصداقية المبدأ البشري أو نفعه في صورته الضعيفة، لكن هناك عددًا من الاعتراضات التي ترد في مواجهة المبدأ البشري القوي؛ مثل تفسير الحالة التي عليها الكون مثلًا، فبأي منطق يمكن لكل هذه العوالم أن تكون؟ فإذا كانت معزولة عن بعضها فعلًا، فما يحدث في عالم آخر لا نشاهده ليس له تأثير في عالمنا. ولذا فإن علينا أن نستخدم مبدأ الاقتصاد لنستبعد هذه العوالم من النظرية. ومن جهة أخرى إذا كانت مناطق مختلفة لعالم واحد فحسب؛ فإن القوانين العلمية لابد أن تكون هي نفسها في كل منطقة. وإلا لما تمكنا من الانتقال باستمرار من منطقة إلى أخرى. وفي هذه الحالة فإن الاختلاف الوحيد بين المناطق يكمن في هيئاتها الأولية، وعليه فإن المبدأ البشري القوي يختزل إلى المبدأ الضعيف.

ويقدم المبدأ البشري إجابة ممكنة على التساؤل حول السبب في تجعد الأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار، ولا يبدو أن بعدين مكانيين يمكن أن يكونا كافيين ليسمحا بتطور كائنات معقدة مثلنا، فمثلًا، على الكائنات ذات البعدين التي تعيش على حلقة (سطح ثنائي الأبعاد للأرض) أن تتسلق بعضها فوق بعض لتعبر في طريقها. وإذا أكلت الكائنات الثنائية الأبعاد شيئًا فلن يهضم كاملًا، ولابد لها أن تلفظ البقايا بالطريقة نفسها التي ابتلعت بها الطعام؛ لأنه لو كان هناك مخرج آخر عبر جسمها لانقسم الحيوان ثنائي الأبعاد إلى نصفين منفصلين. وسيقضي على هذا الكائن ثنائي الأبعاد. وبالمثل لا يمكن أن نتخيل كيفية حدوث الدورة الدموية في مخلوق ثنائي الأبعاد.

كما أن هناك مشاكل مع الأبعاد لو زادت عن ثلاثة، فستتناقص قوى الجاذبية بطريقة مسرعة مع زيادة المسافة أكثر من تناقصها في وجود ثلاثي الأبعاد. (تتناقص الجاذبية إلى الربع عند مضاعفة المسافة في حالة الأبعاد الثلاثة، أما في حالة الأبعاد الأربعة فإنها ستتناقص إلى الثمن عند مضاعفة المسافة، وفي حالة الأبعاد الخمسة ستتناقص إلى جزء من ستة عشر جزءًا وهكذا). ومغزى هذا الحديث أن مدارات الكواكب حول الشمس – مثل الأرض – ستكون غير مستقرة، وسيؤدي أي اضطراب مهما كان صغيرًا في المدار الدائري (مثل ذلك الذي تسببه جاذبية الكواكب الأخرى) إلى اندفاع الأرض مبتعدة عن الشمس، أو اندفاعها لتسقط عليها. وستتعرض إما للتجمد بردًا أو الاحتراق. وسيعني السلوك نفسه للجاذبية في الواقع مع المسافة في حالة أبعاد مكانية أكثر من ثلاثة ألا تتمكن الشمس من البقاء في حالة مستقرة، إذ يتزن الضغط مع الجاذبية. فإما أن تتمزق الشمس إلى أجزاء، أو أن تنهار على نفسها لتكوّن ثقبًا أسود. وفي أي الحالتين لن تكون الشمس مصدرًا مفيدًا للطاقة أو الضوء للحياة على الأرض. وعلى مقياس أصغر فإن القوى الكهربية التي تسبب دوران الإلكترونات حول النواة يمكن أن تسلك المسلك نفسه لقوى الجاذبية. وهكذا إما أن تهرب الإلكترونات من الذرة كلية، أو أنها تسقط في النواة، وفي كل الحالات لن تكون هناك ذرات كالتي نعرفها.

ويبدو واضحًا أن الحياة – على الأقل تلك التي نعرفها – يمكن أن تكون في مناطق من الزمكان التي لها ثلاثة أبعاد مكانية تمامًا وبعد واحد زمني، كلها غير مجعدة. وقد يعني ذلك أننا قد نلجأ إلى المبدأ البشري الضعيف، مع ضرورة أن تسمح نظرية الأوتار بوجود مثل هذه المناطق في الكون، ويبدو أن هذا ما تفعله نظرية الأوتار في الواقع. وربما هناك مناطق أخرى في العالم، أو عوالم أخرى (مهما كان يعنيه ذلك)، إذ تتجعد كل الأبعاد على المستوى الصغير، أو يكون هناك عوالم بها أكثر من أربعة أبعاد مسطحة تقريبًا، لكن قد لا يكون هناك مخلوقات ذكية في مثل هذه المناطق لترصد الأعداد المختلفة للأبعاد المؤثرة.



أهمية التواجد فى ثلاثة أبعاد

فى وجود أكثر من ثلاثةأبعاد مكانية (فضائية) ستكون مدارات الكواكب غير مستقرة، وإما ستسقط الكواكب فى الشمس، أوستهرب كلية من جاذبيتها

وإلى جانب مشكلة الأبعاد فإن هناك مشكلة أخرى تتعلق بنظرية الأوتار؛ وهي وجود خمس نظريات مختلفة على الأقل (نظرتين للأوتار المفتوحة، وثلاث نظريات أخرى للأوتار المغلقة)، وملايين الطرائق التي يمكن التنبؤ بها لتجعد الأبعاد الإضافية في نظرية الأوتار. لماذا إذن انتقيت نظرية واحدة فقط للأوتار، ونوع واحد من التجعد؟ ولفترة من الزمن بدا أنه لا إجابة على هذا السؤال، وأصبح تقدم النظرية متعثرًا. لكن بدءًا من سنة ١٩٩٤ تقريبًا بدأ العلماء في اكتشاف ما يعرف بالازدواجيات: من الممكن أن تؤدي نظريات الأوتار المختلفة، والطرائق المختلفة لتجعد الأبعاد الإضافية إلى النتائج نفسها في أربعة أبعاد. وكما أن هناك جسميات تشغل نقاطًا مفردة في الفضاء، أو أوتارًا مثل الخطوط، فقد اكتشفت جسيمات أخرى تسمى P - بران P–bran، وهي تشغل فراغًا ذا بعدين أو أكثر (يمكن عد الجسيمة بران صفر O–bran والوتر ١ - بران ١–bran، لكن كانت هناك كذلك P - بران بقيم P=٢ وحتى P=٩. ويمكن تخيل بران -٢ على أنه شيء مثل غشاء ثنائي الأبعاد، ومن الصعب تخيل برانات brans لها أبعاد أعلى من ذلك). وما يبدو من ذلك أن هناك نوعًا من الديموقراطية بين نظريات الجاذبية الفائقة، والأوتار وP - برانات (بمعنى أن لكل منهم القيمة نفسها)، ويبدو أنهم يناسبون بعضهم بعضًا؛ لكن لا يمكن عد أيهم أكثر أهمية من الأخريات. وبدلًا من ذلك فإنهم جميعًا يبدون تقريبات مختلفة لنظرية ما أساسية أكثر منهم جميعًا، إذ تكون كل منهم صالحة تحت ظروف مختلفة فحسب.

دأب العلماء على البحث عن هذه النظرية الأساسية من دون جدوى حتى الآن، ومن المحتمل ألا تكون هناك صيغة وحيدة للنظرية الأساسية؛ فكما ذكر جوديل أنه من الممكن صياغة الحساب بمدلول فئة وحيدة من البديهيات. وبدلًا من ذلك؛ قد يشبه الأمر الخرائط؛ فإنك لا تستطيع أن تستخدم خريطة مسطحة واحدة لوصف سطح الأرض المكور، أو سطح حلقة المرساة، فإنك تحتاج إلى خريطتين على الأقل في حالة الأرض، وأربع خرائط لحلقة المرساة حتى تغطي كل نقطة. وتصلح كل خريطة لمدى محدد؛ لكن الخرائط المختلفة ستشمل مناطق متداخلة مع بعضها. ويزودنا مجموع الخرائط بوصف شامل للسطح. وبالمثل فقد يكون من الضروري استخدام صيغ مختلفة في المواقف المختلفة في الفيزياء، غير أن صياغتين مختلفتين قد تتفقان في المواقف المختلفة في المناطق التي تغطيها كلتاهما.

إذا كان ذلك صحيحًا؛ فإن مجموعة الصياغات الكلية يمكن عدها نظرية موحدة شاملة. مع أنه قد يستحيل التعبير عنها بمدلول فئة مفردة من الفرضيات. وحتى ذلك قد يفوق ما تسمح به الطبيعة. فهل من المحتمل ألا تكون هناك نظرية موحدة؟ وربما نتبع سرابًا؟ يبدو أن هناك ثلاثة احتمالات مختلفة:

١. هناك في الحقيقة نظرية موحدة شاملة (أو مجموع صياغات متداخلة)، والتي سنكتشفها يومًا إذا كنا على درجة كافية من الذكاء.
٢. ليس هناك نظرية نهائية للكون؛ وإنما تتابع لانهائي من النظريات التي تصف الكون بدقة متزايدة، لكنها لن تكون دقيقة تمامًا أبدًا.
٣. ليس هناك نظرية للكون، ولا يمكن التنبؤ بالأحداث أبعد من حد معين، فهي تحدث بطريقة عشوائية واعتباطية.

ويحاول بعضهم دفاعًا عن صحة الاحتمال الثالث على أساس أنه لو كانت هناك فئة شاملة من القوانين فإنها تنتهك مشيئة الرب في التغير إذا أراد أن يتدخل في شؤون العالم. وبما أن الرب قادر على كل شيء، فهل هو قادر على التدخل في مشيئته إذا أراد ذلك؟ ويشبه ذلك التناقض القديم: هل يستطيع الرب خلق صخرة أثقل مما يمكنه رفعها؟ وفكرة أن الرب قد يرغب في تغيير فكره تعد مثالًا على الفكرة الخاطئة التي أشار إليها القديس أوجستين St. Augustine عن تصور الرب ككائن موجود في الزمان. والزمان ملكية خاصة للكون الذي خلقه الرب، ومن المفترض أنه يعلم ما يقصد عندما خلقه!.

ومع تطور ميكانيكا الكم توصلنا للتعرف على أن الأحداث لا يمكن التنبؤ بها بدقة تامة، فهناك دائمًا درجة من عدم التيقن. وإذا شئت يمكن إرجاع تلك العشوائية إلى تدخل الرب، لكن قد يكون ذلك نوع غريب جدًا من التدخل، مع غياب أي دليل على أن هذا التدخل موجه إلى أي غرض. فإذا كانت كذلك،فإن ذلك ليس عشوائيًا بالتعريف. وفي العصر الحديث ألغينا الاحتمال الثالث المذكور أعلاه بنجاح، وذلك بإعادة صياغة الهدف من العلم: فهدفنا هو صياغة مجموعة من القوانين التي تمكننا من التنبؤ بأحداث في الحدود التي وضعها مبدأ عدم التيقن.

ويتفق الاحتمال الثاني، الذي ينص على أن هناك تتابعًا لا نهائيًا من نظريات تزداد تطورًا ودقة أكثر فأكثر، يتفق مع كل خبرتنا حتى الآن. وفي أحوال كثيرة أمكننا رفع حساسية قياساتنا أو أجرينا نوعًا جديدًا من المشاهدات لاكتشاف ظواهر جديدة، لم يتم التنبؤ بها في النظريات القائمة. وحتى نتمكن من ذلك كان لابد من العثور على نظرية أكثر تطورًا. وبدراسة الجسيمات التي تتداخل مع بعضها بطاقة متزايدة باستمرار فإننا قد نتوقع أن نكتشف حلقات جديدة من البنية الأساسية أبعد من الكواركات والإلكترونات والتي نعدها الآن جسيمات «أولية».

وقد تزودنا الجاذبية بحدود لهذا التتابع من «الصناديق داخل بعضها». فإذا كان لدينا جسيمة ذات طاقة أعلى من قيمة تعرف بطاقة بلانك Planck Energy؛ فإن كتلتها ستكون مركزة إلى الدرجة التي تجعلها تنزع نفسها عن باقي الكون مكونة ثقبًا أسود صغيرًا. وعليه فإن تتابع النظريات التي تزداد دقة باستمرار لابد أن يصل إلى حد عندما نتعرض بالدراسة لطاقات أعلى وأعلى. ولذا لابد أن تكون هناك نظرية ما نهائية للكون. ومع ذلك فإن طاقة بلانك لا تزال بعيدة جدًا عن قيم الطاقة التي ننتجها في المعامل في الوقت الحالي. ولن نتمكن من عبور هذه الفجوة في معجلات الجسيمات في المستقبل القريب. ومع ذلك فإن المراحل المبكرة جدًا للكون ما هي إلا ساحة لابد أن تكون قد حدثت عليها مثل هذه الطاقات. وهناك فرصة كبيرة أن تؤدي دراسة الكون المبكر والمتطلبات الرياضية المتوافقة معها إلى نظرية موحدة شاملة في حياة بعض الذين يعيشون بيننا هذه الأيام، مع الافتراض الدائم بأننا لن نفجر أنفسنا قبل ذلك!. وما الذي يعنيه اكتشافنا للنظرية النهائية للكون بالفعل؟

كما سبق أن ذكرنا في الفصل الثالث، إننا قد لا نتمكن من التأكد التام من أننا قد اكتشفنا النظرية الصحيحة حقًا، إذ إنه لا يمكن التحقق من النظريات. لكن إذا كانت النظرية متوافقة رياضيًا وتقدم تنبؤات تتفق مع المشاهدة؛ فإننا يمكن أن نتأكد بدرجة معقولة أن هذه النظرية صحيحة، وسيضع ذلك نهاية لفصل طويل ورائع في تاريخ صراع الذكاء البشري لفهم الكون. وسيحدث ذلك ثورة في مفاهيم الشخص العادي للقوانين التي تحكم العالم.

وفي عصر نيوتن كان من الممكن لشخص متعلم أن يحظى بقسط من المعرفة الإنسانية، على الأقل في المدى العريض (in broad strokes). لكن منذ ذلك الوقت جعلت سرعة

تطور العلم ذلك مستحيلًا. ولأن النظريات كانت دائمة التغير لتضع في الحسبان المشاهدات الجديدة، فإنها لم تستوعب تمامًا بما يلائم أبدًا، أو بسطت ليفهمها الإنسان العادي. فلابد أن تكون متخصصًا، وحتى لو كنت متخصصًا فإنك تأمل في الحصول على قبس مناسب من جزء ضئيل من النظريات العلمية. والأكثر من ذلك فإن معدل التقدم من السرعة بحيث إن ما نتعلمه في المدرسة أو الجامعة يصبح دائمًا متخلفًا ولا يستطيع إلا عدد قليل من الناس أن يسايروا التقدم السريع لجبهة المعرفة، وعليهم لتحقيق ذلك أن يكرسوا وقتهم له، وأن يتخصصوا في مجال ضيق. أما بقية الناس فليس لديهم إلا فكرة ضئيلة مبهمة عن التقدم وعن الإثارة التي تولدها هذه النظريات. ومن جهة أخرى، فمنذ سبعين عامًا، وإذا صدّقنا ما قاله إدينجتون Edington فإن شخصين فحسب هما من فهم نظرية النسبية العامة. أما في أيامنا الحالية فهناك عشرات الآلاف من خريجي الجامعات الذين يفهمون النظرية، وعدة ملايين من الناس على دراية بالفكرة على الأقل. وإذا اكتشفت نظرية شاملة موحدة فسيكون أمر فهمها مسألة وقت لتصبح مهضومة، ومبسطة الطريقة نفسها، وستدرس في المدارس في خطوطها العريضة على الأقل. وسنكون عندئذ قادرين على التوصل إلى بعض الفهم للقوانين التي تحكم العالم والمسؤولة عن وجودنا.

وحتى إذا اكتشفنا نظرية شاملة موحدة؛ فإن ذلك لن يعني أننا سنستطيع التنبؤ بالأحداث عمومًا، وذلك لسببين، أول هذين السببين هو الحدود التي يضعها مبدأ عدم التيقن في ميكانيكا الكم على مقدرتنا على التنبؤ، ولا يمكن التغلب على ذلك. وعمليًا فإن هذا التحديد أقل حدة من التحديد الثاني. وينشأ ذلك من حقيقة أننا على الأغلب لن نستطيع حل معادلات هذه النظرية إلا في مواقف بسيطة جدًا. وكما سبق أن ذكرنا فلا أحد يتمكن من حل المعادلات الكمية بدقة لذرة مكونة من نواة وأكثر من إلكترون. ونحن لا نستطيع حل حركة ثلاثة أجسام تتحرك في نظرية بسيطة مثل نظرية نيوتن للجاذبية، ويزداد الأمر صعوبة بزيادة عدد الأجسام وزيادة تعقيد النظرية. وعادة ما تكفي الحلول التقريبية في أثناء التطبيق، لكنها لا تكاد تحقق التوقعات الكبرى التي يثيرها مصطلح «النظرية الموحدة لكل شيء».

ونحن نعرف اليوم القوانين التي تحكم سلوك المادة تحت كل الظروف باستثناء أكثر الظروف تطرفًا. وبالتحديد فنحن نعرف القوانين الأساسية التي تكمن في أساس الكمياء والبيولوجيا. إلا أننا بالتأكيد لم نختزل هذه الموضوعات إلى نوع من المسائل المحلولة. ومع ذلك فلم نحقق إلا القليل من النجاح في التنبؤ بالسلوك البشري بفضل المعادلات الرياضية. ولذا حتى إذا توصلنا إلى فئة شاملة من القوانين الأساسية؛ فلا يزال أمامنا سنوات وسنوات لمواجهة تحدي المهمة الذكية لتطوير طرائق تقريبية أفضل حتى نتمكن من إجراء تنبؤات مفيدة للنواتج المحتملة في الظروف المعقدة والواقعية. وما النظرية الموحدة الشاملة المتوافقة إلا خطوة أولى فحسب؛ فهدفنا هو الفهم التام للأحداث من حولنا وفهم وجودنا نفسه.

• ١٢ •

الخاتمة

نجد أنفسنا في عالم محير؛ فنحن نود أن نستوعب ما نرى من حولنا ونسأل: ما هي طبيعة الكون؟ وما هو مكاننا فيه، ومن أين جئنا نحن وهو؟ ولماذا هو على الحالة التي هو عليها؟

وللإجابة على هذه الأسئلة لابد من تبني صورة ما للعالم، وتمامًا كما أن هناك تصورًا بأن الأرض مسطحة، ومحمولة على برج هائل لانهائي من السلاحف؛ فهناك تصور آخر هو نظرية الأوتار الفائقة. وكلتا النظريتين تتناول الكون إلا أن النظرية الأخيرة أكثر توافقًا رياضيًا، وأكثر دقة من النظرية الأولى. لكن كلتا النظريتين ينقصهما الدليل المحسوس؛ فلم ير أحد على الإطلاق سلحفاة عملاقة تحمل الأرض على متنها، وعلى الجانب الآخر لم ير أحد وترًا فائقًا كذلك. إلا أن نظرية السلحفاة قد تهاوت؛ لأنه لا سند علميًا لها، ولأنها تتنبأ بسقوط الناس إذا وصلوا إلى حافة العالم. ولا تتفق النظرية بذلك مع خبرتنا إلا إذا توصلنا إلى تفسير أن الذين اختفوا في مثلث برمودا هو مثال لذلك!

تضمنت محاولات النظريات المبكرة لوصف الكون وتفسيره فكرة أن الأرواح والعواطف البشرية تتحكم في الأحداث والظواهر الطبيعية، تلك التي تتفاعل بطريقة بشرية جدًا وغير متوقعة. تقمصت تلك الأرواح الأشياء «الطبيعة» مثل الأنهار والجبال والأجرام السماوية بما في ذلك الشمس والقمر. وكان لابد من استرضاء هذه الأرواح والحصول على مباركتها

لتأكيد خصوبة التربة ودورة الفصول، وعمومًا لابد من ملاحظة وجود نظام معين: فالشمس دائمًا تشرق من الشرق وتغرب في الغرب، بصرف النظر عن وجود تضحية أو قربان يقدم للإلهة الشمس. وما هو أكثر من ذلك أن الشمس والقمر والكواكب تتبع مسارات دقيقة في السماء، يمكن التنبؤ بها مقدمًا بدرجة معقولة من الدقة. وربما تكون الشمس والقمر إلهين: لكنهما إلهان يتبعان قوانين صارمة من دون أي استثناءات؛ إذا صرفنا النظر عن بعض القصص مثل توقف الشمس بطلب من «يوشع».

وفى البداية كان هذا الانتظام والقوانين المذكورة آنفا واضحة فقط فى الفلك ومواقف قليلة أخرى. لكن بتطور الحضارة وخصوصا خلال القرون الثلاثة الأخيرة تم اكتشاف حالات أكثر وأكثر من الانتظام والقوانين. أدى نجاح تلك القوانين بلابلاس فى بداية القرن التاسع عشر إلى اقتراح الحتمية العلمية: أى أنه لا بد من وجود مجموعة من القوانين التى تحدد تطور الكون بالضبط وهيئته فى أى لحظة.

لم تكن حتمية لابلاس تامة في أمرين: الأول أنها لم تذكر كيفية اختبار القوانين، والآخر أنها لم تحدد البنية الأولية للكون. تركت حتمية لابلاس هذه الأمور للرب، فهو الذي يختار كيف يبدأ الكون، وأي القوانين تطبق، ولكنه لا يتدخل في الأمر بعد تلك اللحظة. وفي الحقيقة فإن الرب كان محصورًا في المنطقة التي لم يفهمها علماء القرن التاسع عشر.

ونحن نعرف الآن أن آمال لابلاس في الحتمية لايمكن تحقيقها على الأقل بالطريقة التي كان يتصورها هو، ويعني مبدأ عدم التيقن في ميكانيكا الكم أن أزواجًا من مقادير مثل الموقع، وسرعة الجسيمات لايمكن التنبؤ بها بدقة تامة. فتعامل ميكانيكا الكم مع مثل هذه المواقف بوساطة نظريات كم تكون فيها الجسيمات غير محددة الموقع والسرعة بالضبط ولكنها ممثلة بموجة. وهذه النظريات الكمية مقدرة من مفهوم أنها تقدم قوانين لتطور الموجة مع الزمن، بمعنى أننا إذا عرفنا موجة عند زمن معين؛ فإننا نستطيع حسابها عند زمن آخر. ويظهر العنصر العشوائي غير المتوقع عندما نحاول تفسير الموجة بمدلول سرعة الجسيمات وموقعها فحسب. وربما يكون هذا هو خطأنا؛ ربما ليس هناك موقع للجسيمات او سرعة: وإنما موجات فقط. وقد نكون نحاول أن نوفق الموجات مع أفكارنا المسبقة عن الموقع والسرعة، وقد يكون السبب في هذا التباين الناتج هو سبب التزاوج الظاهري غير المريح.





من السلاحف إلى الفضاء المحدب
الرؤى القديمة والحديثة للعام

وبالفعل قمنا بمهمة صياغة ما يقوله العلم؛ وهو اكتشاف القوانين التي ستمكننا من التنبؤ بالأحداث، ولكن في حدود معينة يفرضها مبدأ عدم التيقن. إلا أن السؤال لا يزال ملحًّا: كيف اخترنا القوانين والحالة الأولية للكون ولماذا؟«أعطى هذا الكتاب أهمية خاصة للقوانين التي تتحكم في الجاذبية؛ لأن الجاذبية هي التي تشكل بنية الكون على مستوى المقياس الكبير حتى وإن كانت أضعف القوى الأربع. لم تكن قوانين الجاذبية متوافقة مع فكرة أن الكون لا يتغير مع الزمن، والتي كانت سائدة حتى وقت قريب جدًا». إلا أن كون الجاذبية دائمًا تجذب يعني أن العالم لابد أن يتمدد أو يتقلص. ووفقًا لنظرية النسبية العامة فإن الكون لابد أنه كان في حالة من الكثافة اللانهائية في الماضي ـ الانفجار الكبير ـ والذي يبدو أنه كان البداية المؤثرة للزمن. وبالمثل إذا كان الكون كله سينهار على نفسه في لحظة السحق الرهيب؛ فلابد من حالة أخرى تكون عندها الكثافة في المستقبل لانهائية، والتي تعني نهاية الزمن. وحتى إذا لم يحدث انهيار للكون كله فلابد من حدوث حالة تفرد في أي منطقة معزولة ليتكون منها ثقب أسود. وتؤدي هذه الحالات المتفردة إلى نهاية الزمن بالنسبة لأي شيء يقع في الثقب الأسود، وعند لحظة الانفجار الرهيب وحالات التفرد الأخرى تتحطم كل القوانين؛ وبذلك يكون للرب حرية تامة ليختار ماذا يحدث وكيف يبدأ الكون.

وعندما نجمع ميكانيكا الكم والنسبية العامة نلاحظ ظهور احتمال جديد لم يظهر من قبل؛ وهو أن الزمان والمكان يكونان معًا فضاءً ذا أربعة أبعاد ليس فيه حالة تفرد، أو حدود مثل سطح الأرض لكن بأبعاد أكثر. ويبدو أن هذه الفكرة قد توضح كثيرًا من السمات التي نلاحظها في الكون؛ مثل انتظامه على المقياس الكبير، وتوضح كذلك البعد عن التجانس عند المقياس الصغير. لكن إذا كان الكون مغلقًا على نفسه تمامًا، وليس فيه تفرد أو حدود، ويمكن وصفه بنظرية موحدة تمامًا؛ فإن هذا يعني الدليل القاطع على وجود إله خالق.

وقد سأل أينشتاين في أحد المرات «ما هي مجالات الاختيار عند الرب لحظة بناء الكون؟» وإذا كان اقتراح عدم وجود حدود صحيحًا؛ فإن ذلك يعني أن الرب لم تكن لديه الحرية إطلاقًا في اختيار الظروف الأولية. ومن الطبيعي أن تكون للرب حرية اختيار القوانين التي يضعها للكون. وقد لا يكون ذلك حرية اختيار حقيقية؛ فقد تكون هناك نظرية موحدة وحيدة، أو عدد قليل من نظريات موحدة شاملة؛ مثل نظرية الأوتار المتوافقة ذاتيًا، والتي

تسمح بوجود بنى معقدة مثل البشر يستطيعون اختبار دراسة قوانين الكون والتساؤل حول طبيعة الرب.

وحتى إذا كانت هناك نظرية موحدة واحدة محتملة فستكون مجموعة من القواعد والمعادلات. فما الذي يبعث النار في المعادلات، ويصيغ عالمًا تصفه؟ ولا يستطيع النموذج الرياضي العادي ولا الطريقة العلمية التي تقيمه الإجابة على السؤال عن حتمية وجود عالم يصفه هذا النموذج. فلماذا يأخذنا الكون، ويرهقنا عن سبب وجوده؟ وهل النظرية الموحدة من القوة والجبروت بحيث تؤدي إلى نشوئها نفسها؟ أم هي تتطلب وجود خالق؛ وإذا كان الأمر كذلك: فهل له تأثير آخر في العالم بعد الخلق؟ ومن الذي خلقه؟

وحتى الآن كان معظم العلماء مشغولين بتطوير نظريات تصف ما عليه الكون؛ وليس لماذا هو موجود. ومن جهة أخرى فإن الناس المنوط بهم طرح هذا السؤال - أي الفلاسفة لم يكن في مقدورهم اللحاق بتطور النظريات العلمية. وكان الفلاسفة في القرن الثامن عشر يرون أن جميع المعارف البشرية – بما في ذلك العلم – ضمن مجال اهتمامهم، وأخذوا يناقشون أسئلة مثل هل كان للعالم بداية. إلا أنه في القرنين التاسع عشر والعشرين أصبح العلم أكثر تقنية ورياضة عن مستوى الفلاسفة، أو أي أحد آخر غير العلماء. واختزل الفلاسفة مجال اهتمامهم بشدة، حتى إن ويتجينشتاين Wittgenstein – أشهر فلاسفة القرن العشرين – قال: «أصبحت المهمة الوحيدة المتبقية أمام الفلسفة هي تحليل اللغة». أي خسارة فادحة هذا التراجع عن التقاليد العظيمة للفلسفة من أيام أرسطو حتى كانت!

وإذا اكتشفنا النظرية الشاملة فإنها لابد أن تكون مفهومة مع مرور الوقت، في خطوطها العريضة لدى كل الناس، وليس قلة من العلماء فحسب. وبذلك سنتمكن جميعًا – فلاسفة وعلماء وأناسًا عاديين من المشاركة في الجدل الدائر حول سبب وجودنا ووجود الكون. وإذا وجدنا الإجابة على هذا التساؤل، فسيكون ذلك النصر النهائي للمنطق البشري؛ لأننا عندئذ سنعرف ما الذي يدور في ذهن الرب.

• ألبرت أينشتاين •

علاقة أينشتاين بالسياسة فيما يتعلق بموضوع القنبلة الذرية معروفة للجميع؛ فقد كان هو الذي وقع على الخطاب الشهير الموجه إلى رئيس الولايات المتحدة أن تتخذ فكرة تصنيع القنبلة بجدية. وقد شارك بعد الحرب في جهود منع الحرب النووية، لم تكن تلك حالات منعزلة لعالم انساق إلى عالم السياسة؛ بل في الحقيقة إن أنيشتاين – كما قال هو عن نفسه– «منقسم بين السياسة والمعادلات».

ظهر نشاط أينشتاين المبكر عندما كان أستاذًا في برلين في أثناء الحرب العالمية الأولى، فقد شارك في المظاهرات المعارضة للحرب متأثرًا بما رآه من فقد للنفس البشرية. وكان يدعو الناس إلى العصيان المدني، ورفض التجنيد الإلزامي، مما كان له أكبر الأثر في ألا يكون محبوبًا بين أقرانه. لكنه وجه جهوده بعد الحرب للتصالح وتحسين العلاقات الدولية؛ وهو ما جعله غير محبوب كذلك، ثم جاءت آراؤه السياسية عقبة في أن يزور الولايات المتحدة أو حتى يلقي بعض المحاضرات.

كانت الصهيونية هي المحرك الثاني لأينشتاين؛ فمع أنه يهودي المولد إلا أنه لم يؤمن بالكتب المقدسة. غير أن نمو الشعور بمعاداة السامية قبل الحرب العالمية الأولى وفي أثنائها

جعلته ينخرط تدريجيًا في المجتمع اليهودي، ليصبح فيما بعد أحد المناصرين البارزين للصهيونية. ومرة أخرى لم تثنه قلة شعبيته عن التصريح بما يجول في خاطره، وأصبحت نظرياته موضع هجوم إلى درجة أنه تشكلت إحدى الجمعيات المناهضة لأينشتاين، وقد أدين أحد الأشخاص بتهمة التحريض على قتل أينشتاين وحكم عليه بغرامة مالية مقدارها ستة دولارات (رمزية). لكن آينشتاين كان رابط الجأش، وعندما صدر كتاب عنوانه «مائة مؤلف ضد أينشتاين» رد بقوله «لو كنت مخطئًا فإن كتابًا واحدًا فحسب كان كافيًا».

تولى هتلر السلطة عام ١٩٣٣، وعندها قرر أينشتاين الذي كان في أمريكا عدم العودة إلى ألمانيا. وعند ذلك قامت الميليشيات النازية بمهاجمة منزله، ومصادرة أمواله في البنوك، وظهرت كل جرائد برلين وعنوانها: «أخبار سارة من أينشتاين: إنه لن يعود». وفي مواجهة التهديد النازي تخلى أينشتاين عن سياسة اللا عنف، واقترح على الولايات المتحدة أن تطور القنبلة الذرية خوفًا من أن يفعل العلماء الألمان ذلك. وحتى قبل إلقاء القنبلة الذرية الأولى كان يحذر علنًا من مخاطر الحرب النووية، وكان من أنصار فرض حظر دولي على الأسلحة النووية.

وعلى مدى عمره لم تحظ توجهات أينشتاين السياسية بكثير من التأثير، و لم تكسبه كثيرًا من الأصدقاء. إلا أن تعضيده الكبير للصهيونية قوبل بالاعتراف بالجميل في إسرائيل؛ ففي سنة ١٩٥٢ عرضت عليه رئاسة إسرائيل؛ لكنه رفضها قائلًا: إنه غير محنك سياسيًا. غير أن السبب الحقيقي لرفضه قد يكون غير ذلك، فقد صرح قائلًا: «إن المعادلات أكثر أهمية بالنسبة إليّ؛ لأن السياسة هي للحاضر، أما المعادلة فهي شيء أبدي».

جاليليو جاليلي

ربما يكون جاليليو – أكثر من أي شخص آخر – هو المسؤول عن ميلاد علم الفيزياء الحديثة، فقد كانت معركته الشهيرة مع الكنيسة الكاثوليكية هي محور فلسفته، إذ كان جاليليو أول من جادل في أن الإنسان يمكن أن يأمل في تفهم الكيفية التي يعمل بها العالم، بل أكثر من ذلك؛ إنه يستطيع أن يفعل ذلك بمراقبته للعالم الحقيقي. كان جاليليو يعتقد بنظرية كوبرنيكوس (التي تنص على أن الكواكب تدور حول الشمس) مبكرًا. لكنه لم يناصرها علنًا إلا بعد أن وجد الدليل الذي كان يحتاج إليه لدعمها. كتب جاليليو عن نظرية كوبرنيكوس باللغة الإيطالية (وليس باللغة اللاتينية التي كانت اللغة الأكاديمية)، وسرعان ما انتشرت آراؤه، وتبناها كثيرون خارج الجامعات. أثار هذا الأمر الأساتذة من أتباع أرسطو، الذين اتحدوا ضده، وحرضوا الكنيسة الكاثوليكية ضده لمنع تفشي منطق كوبرنيكوس.

قلق جاليليو من جراء ذلك، وسافر إلى روما للتحدث مع المسؤولين الكهنوتيين، جادل جاليليو بأن الإنجيل لا يدل على أي شيء يتعلق بالنظريات العلمية، ومن الأمور العادية أن نفترض عندما يتعارض الإنجيل مع الحكم على الأمور بصورة صارمة وحصيفة فإن الأمر يصبح مجازيًا.

كانت الكنيسة متخوفة من حدوث فضيحة تتسبب في حرج لها في موقفها من المعركة ضد البروتستانتية، ولهذا اتخذت موقفًا متشددًا. وأعلنت في سنة ١٦١٦ أن «الكوبرناكية» خطأ وغير صحيحة، وأمرت جاليليو بألا «يدافع أو يؤيد» هذه العقيدة مرة أخرى أبدًا، وأذعن جاليليو لذلك.

وفي سنة ١٦٢٣ أصبح البابا صديق عمر لجاليليو مدة طويلة، حاول جاليليو من فورهً أن يلغي قرار ١٦١٦؛ لكنه لم يفلح في ذلك، وحصل في المقابل على إذن يسمح له بأن يكتب كتابًا يعرض فيه نظرية أرسطو وكوبرنيكوس على أن يلتزم بشرطين: ألا يأخذ جانب أحدهما، والأمر الآخر هو أن يتوصل في النهاية إلى أن الإنسان لا يستطيع على أي حال أن يحدد كيفية عمل العالم؛ لأن الرب وحده القادر على تسيير الأمور بطرائق لا يتخيلها الإنسان، فالإنسان لا يستطيع أن يضع قيودًا على المقدرة الإلهية.

وفي سنة ١٦٢٣ ظهر كتاب«حوار يتعلق بالنظامين الأساسيين Dialogue Concerning the 2 Chief Systems مسايرًا لرغبة الرقباء، وقد قوبل في كل أنحاء أوروبا بالترحاب، ورأوا أنه عمل أدبي وفلسفي رائع. وسرعان ما تحقق البابا أن الناس قد رأت الكتاب على أنه مجادلة مقنعة لفكرة الكوبرنيكية، وندم على أنه سمح بنشره. قرر البابا أنه على الرغم من أن الرقباء قد باركوا نشر الكتاب إلا أن جاليليو قد انتهك قرار ١٦١٦. أحضر البابا جاليليو للمساءلة،وحكم عليه بالسجن في منزله طوال حياته، وأمره بأن يعلن على الملأ رفضه لعقيدة كوبرنيكوس، وللمرة الثانية يزعن جاليليو.

ظل جاليليو مخلصًا لديانته الكاثوليكية؛ إلا أن معتقداته في استقلالية العلم لم تتحطم أبدًا. وفي سنة ١٦٤٢ أي أربع سنوات قبل وفاته وفي أثناء وجوده في الحبس الإجباري بمنزله، هربت أصول كتابه الثاني المهم إلى ناشر في هولندا. وكان هذا الكتاب الذي أطلق عليه «علمان جديدان Two New Sciences» أكثر تأييدًا بكثير من الكتاب الأول لكوبرنيكوس، وأصبح هذا الكتاب أصل نشوء الفيزياء الحديثة.

• إسحق نيوتن •

لم يكن اسحق نيوتن رجلًا سويًا؛ فقد كانت علاقته بالأكاديميين الآخرين غير طيبة. وقد أمضى سنواته الأخيرة غارقًا في نزاعات ساخنة. وبعد ظهور كتابه «المبادئ الرياضية Principia Mathematica»، الذي يعد أهم الكتب في عالم الفيزياء على الإطلاق، ذاع صيت نيوتن كثيرًا. عين بعد ذلك نيوتن رئيسًا للجمعية الملكية، وأصبح أول عالم يحمل لقب فارس.

سرعان ما اصطدم نيوتن بالفلكي الملكي چون فلامستيد John Flamsteed، الذي كان قد مدّه بكثير من البيانات التي احتاجها نيوتن قبل نشر كتاب «المبادئ الرياضية». وقد حدث هذا الاصطدام لأن فلامستيد امتنع عن إعطائه معلومات أخرى كان يحتاجها نيوتن. كان نيوتن لا يسمح بأن يقال له لا، فعين نفسه في مجلس إدارة المرصد الملكي وحاول أن يرغم فلامستيد بنشر تلك البيانات. رتب نيوتن للاستيلاء على تلك المعلومات، وجهز لينشرها على يد العدو اللدود لفلامستيد، وهو إدموند هالي Edmond Halley. غير أن فلامستيد عرض قضيته على المحكمة، وحصل على حكم يمنع نشر هذه المعلومات المسروقة قبل نشرها بفترة وجيزة. أثار هذا حنق نيوتن، ولكي ينتقم من فلامستيد حذف كل ما يشير إليه في الطبعات التالية لكتاب «المبادئ الرياضية».

والجدل الأكثر شدة كان مع الفيلسوف الألماني جوتفريد لايبنيز Gottfred Leibniz، كان كل من لايبنيز ونيوتن بمفرده، وبعيدًا عن الآخر، قد طور فرعًا من الرياضيات أطلقوا عليه علم التفاضل والتكامل، والذي بنيت عليه معظم الفيزياء الحديثة. ومع أننا نعرف أن نيوتن قد اكتشف هذا العلم قبل لايبنيز بسنوات؛ إلا أنه لم ينشر أبحاثه إلا مؤخرًا. وأصبح الجدل الكبير حول من توصل أولًا إلى هذا العلم من أسباب انقسام العلماء على فريقين، يؤيد كل منهما أحد الاثنين. والأمر الجدير بالملاحظة أن معظم المقالات التي كتبت دفاعًا عن نيوتن كانت في الأصل مكتوبة بخط يده، ولكن بأسماء أصدقاء له! وعندما احتدمت المعركة ارتكب لايبنيز خطأ بأن رفع الأمر إلى الجمعية الملكية. وعليه فقد عين نيوتن نفسه بصفته رئيسًا للجمعية ـ لجنة «غير منحازة» لفحص الأمر، وكانت اللجنة بالمصادفة مكونة كلها من أصدقائه! و لم يكن ذلك هو ما فعله نيوتن فحسب؛ بل إنه كتب بنفسه تقرير اللجنة، ونشره رسميًا بواسطة الجمعية الملكية التي اتهمت لايبنيز رسميًا بالتزوير.، و لم يكتف نيوتن بذلك؛ بل نشر تعليقًا (تحت اسم مستعار) على هذا التقرير في دورتيه الخاصتين بالجمعية الملكية، وقد كتب نيوتن بعد وفاة لايبنيز أنه كان في غاية السعادة لأنه «حطم قلب لايبنيز».

كان نيوتن في أثناء معركتيه السابقتين قد ترك كمبريدج والأكاديمية، وأصبح نشطًا في العمل بالسياسة في مناهضة الكاثوليكية ببلده كمبريدج، ثم بعد ذلك في البرلمان، مما جعله يحصل على مكافأة على شكل وظيفة مريحة؛ هي مدير صك النقود الملكي. وهنا استخدم نيوتن مقدرته الفائقة في المراوغة واللوع القاسي في مواقف أكثر قبولًا اجتماعيًا؛ إذ قاد بنجاح عملية ضبط كبيرة لتزوير النقود، والتي أرسل بناء عليها كثيرًا من الرجال إلى حتفهم بالموت شنقًا.

• مسرد Glossary •

الصفر المطلق **Absolute zero**

أدنى درجة حرارة ممكنة لا تملك المواد عندها طاقة حرارية.

العجلة (التسريع) **Acceleration**

المعدل الذي تتغير به سرعة الجسم.

المبدأ البشري **Anthropic principle**

فكرة نظرتنا للعالم كما هو لأنه لو كان مختلفًا لما وجدناه هنا لنشاهده.

الجسيمة المضادة **Antiparticle**

لكل نوع من الجسيمات المادية جسيمة مضادة، وعندما تصطدم جسيمة بجسيمتها المضادة تتلاشى الاثنتان، وتصدر عنهما طاقة فقط.

الذرة **Atom**

الوحدة الأساسية للمادة العادية، وهي تتكون من نواة دقيقة (مكونة من بروتونات ونيوترونات) محاطة بإلكترونات تدور حولها.

الانفجار الكبير **Big Bang**

حالة التفرد في بداية الكون.

السحق الكبير **Big Crunch**

حالة التفرد في نهاية الكون.

الثقب الأسود **Black hole**

منطقة من الزمكان والتي لا يمكن أن يهرب منها أي شيء حتى الضوء؛ لأن جاذبيتها قوية جدًا.

المحاور **Coordinates**

الأرقام التي تحدد موقع نقطة في الفراغ والزمان.

الثابت الكوني **Cosmological Constant**

تعديل رياضي استخدمه أينشتاين ليمنح الزمكان خاصية الميل الى التمدد.

علم الكون **Cosmology**

دراسة الكون ككل.

المادة الداكنة **Dark matter**

المادة الكائنة في المجرات وفي التجمعات، وربما بين التجمعات، والتي لا يمكن مشاهدتها مباشرة؛ لكن يمكن اكتشافها بفضل تأثير جاذبيتها. ومن المحتمل أن تكون ٩٠٪ من كتلة الكون على شكل المادة الداكنة.

الازدواجية **Duality**

العلاقة بين نظريات مختلفة في الشكل لكنها تؤدي إلى النتائج الفيزيائية نفسها.

قنطرة آينشتاين- روزين **Einstein-Rosen Bridge**

قناة رقيقة من الزمكان تصل بين ثقبين أسودين.

راجع كذلك الثقب الدودي Wormhole.

الشحنة الكهربية **Electric Charge**

إحدى خواص الجسيمة التي يمكن بوساطتها أن تتنافر (أو تتجاذب) مع جسيمة أخرى لها الشحنة نفسها (أو شحنة مضادة).

القوة الكهرومغناطيسية. **Electromagnetic force**

القوة التي تنشأ بين الجسيمات المشحونة كهربيًا، وهي ثاني أكبر قوة بين القوى الأربع الأساسية.

الإلكترون **Electron**

جسيمة ذات شحنة سالبة تدور حول نواة الذرة.

طاقة التوحيد الكهربية الضعيفة Electroweak unification energy

الطاقة (نحو ١٠٠ GeV جيجا إلكترون ڤولت) التي تختفي فوقها الفوارق بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة.

جسيمة أولية Elelmentary Particle

جسيمة يظن أنها لا تنقسم إلى أصغر منها.

الحدث Event

نقطة في الزمكان تحدد بزمانها ومكانها.

أفق الحدث Event Horizon

حدود الثقب الأسود.

المجال Field

شيء موجود خلال الزمان والمكان في مقابل الجسيمات التي تكون في نقطة واحدة في الزمان.

التردد Frequency

عدد الدورات الكاملة للموجة في الثانية الواحدة.

أشعة جاما Gamma rays

أشعة كهرومغناطيسية لها طول موجات قصير جدًا، وتنتج في أثناء التحلل الإشعاعي أو عند اصطدام الجسيمات الأولية ببعضها بعضًا.

النسبية العامة General Relativity

نظرية أينشتاين التي تقوم على أساس أن القوانين العلمية لابد أن تكون هي نفسها بالنسبة لكل المشاهدين، من دون النظر إلى كيفية تحركهم. وهي تشرح قوة الجاذبية بمصطلحات تحدب الزمكان رباعي الأبعاد.

چيوديسي Geodesic

أقصر (أو أطول) مسار بين نقطتين.

النظرية الموحدة العظمى Grand Unified Theory (GUT)

النظرية التي توحد القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة والقوية.

الثانية الضوئية (السنة الضوئية) Light-second (Light-year)

المسافة التي يقطعها الضوء في ثانية واحدة (سنة واحدة).

المجال المغناطيسي **Magnetic field**

المجال المسؤول عن القوى المغناطيسية، وهو متضمن الآن في المجال الكهربي بما يسمى المجال الكهرومغناطيسي.

الكتلة **Mass**

كمية المادة الموجودة في جسم ما، وعزمها أو مقاومتها للتسارع.

الخلفية الميكروية الإشعاعية (إشعاع الخلفية الميكروية) **Microwave background radiation**

الإشعاع القادم من الكون الساخن المبكر، والذي خضع لإزاحة حمراء كبيرة الآن، إلى درجة أنه لا يظهر كضوء مرئي، ولكن كموجات ميكروية (موجات راديو أطوالها بضعة سنتيمترات).

نيوترينو **Neutrino**

جسيمة خفيفة جدًا لا تتأثر إلا بالقوى الضعيفة والجاذبية فقط.

نيوترون **Neutron**

جسيمة شبيهة بالبروتون لكنها غير مشحونة، وهي تسهم تقريبًا بنصف عدد الجسيمات في أنوية معظم الذرات.

النجم النيوتروني **Neutron Star**

النجم البارد الذي قد يتبقى أحيانًا بعد انفجار مستعر أعظم، وعندما ينهار القلب المادي للنجم على نفسه ليكوِّن كتلة كثيفة من النيوترونات.

الظروف غير الحدودية **No-boundary condition**

فكرة أن الكون محدود لكنه بلا حدود.

الاندماج النووي **Nuclear fusion**

العملية التي تصطدم بواسطتها نواتان لتلتحما وتكونا نواة واحدة أثقل.

النواة **Nucleus**

الجزء المركزي في الذرة، وتتكون من بروتونات ونيوترونات فقط متماسكة مع بعضها بعضًا بواسطة القوى القوية.

معجل الجسيمات **Particle accelerator**

آلة تستخدم المغناطيسيات الكهربية لتعجيل الجسيمات المشحونة وإكسابها المزيد من الطاقة.

الطور **Phase**

بالنسبة للموجة هو الموقع على دورتها عند زمن محدد: مقياس يحدد هل الموقع على قمة الموجة أو في قاعها أو بين ذلك.

الفوتون **Photon**

كم الضوء (جسيمة الضوء).

مبدأ الكم لبلانك **Planck's quantum princple**

فكرة أن الضوء (أو أي موجات تقليدية أخرى) يمكن أن ينبعث أو يمتص بكيمات محددة فقط، بحيث تتناسب طاقتها مع التردد، وتتناسب عكسيًا مع أطوال موجاتها.

بوزيترون **Positron**

الجسيمة المضادة للإلكترون (شحنتها موجبة).

متناسب **Proportional**

يقال: "X تتناسب مع Y" بمعنى لو تضاعفت قيمة Y فستتضاعف قيمة X. و"X تتناسب عكسيًا مع Y" بمعنى لو تضاعفت قيمة Y بمقدار معين تنقسم فيه قيمة X على المقدار نفسه.

بروتون **proton**

جسيمة شبيهة بالنيوترون لكنها ذات شحنة موجبة، وهي تسهم تقريبًا بنصف عدد الجسيمات في أنوية معظم الذرات.

ميكانيكا الكم **Quantum mechanics**

النظرية التي تطورت من مبدأ الكم لبلانك ومبدأ عدم التيقن لهايزنبرج Heisenberg

كوارك **Quark**

جسيمة أولية مشحونة تتأثر بالقوى القوية. ويتكون بروتون أو نيوترون من ثلاثة كواركات.

الرادار **Radar**

منظومة تستخدم نبضات من موجات الراديو لاكتشاف موقع جسم بقياس الزمن الذي تقطعه النبضة الواحدة لتصل إلى الجسم وتنعكس عائدة عنه.

النشاط الإشعاعي **Radioactivity**

التحلل التلقائي لنوع من أنوية الذرات إلى نوع آخر.

الإزاحة الحمراء **Red Shift**

احمرار الضوء القادم من النجم الذي يبتعد عنا والذي ينتج من ظاهرة دوبلر Doppler

التفرد **Singularity**

نقطة في الزمكان عندها يكون تحدب الزمكان لانهائيًا (أو أي كمية فيزيائية أخرى).

الزمكان **Space-time**

الفضاء رباعي الأبعاد الذي تسمى نقاطه أحداثًا.

البعد المكاني **Spatial dimension**

أي بعد من الأبعاد الثلاثة ـ بمعنى أي بعد ما عدا البعد الزماني.

النسبية الخاصة **Special relativity**

نظرية أينشتاين القائمة على فكرة أن القوانين العلمية لابد أن تكون واحدة بالنسبة لجميع المشاهدين، من دون النظر إلى الكيفية التي يتحركون بها في غياب ظاهرة الجاذبية.

الطيف **Spectrum**

مجمل الترددات التي تصنع الموجات. ويمكن مشاهدة الجزء المرئي من طيف الشمس في ألوان قوس قزح.

نظرية الأوتار **String Theory**

نظرية في الفيزياء توصف فيها الجسيمات بأنها موجات على أوتار. وللأوتار أطوال فقط وليس لها أبعاد أخرى.

القوى القوية Strong force

أقوى القوى الأساسية الأربع، وهي ذات أقصر مدى بينها جميعًا. وهي تمسك بالكواركات معًا في البروتونات والنيوترونات وتمسك بالبروتونات والنيوترونات لتكون الذرات.

مبدأ عدم التيقن **Uncertainty principle**

المبدأ الذي صاغه هايزنبرج Heisenberg والذي ينص على أنه ليس في الإمكان التأكد بدقة من موقع وسرعة الجسيمة، وكلما زادت دقة تحديد إحداها تناقصت دقة تحديد الأخرى.

جسيمة خائلية **Virtual particle**

في ميكانيكا الكم، هي الجسيمة التي لا يمكن رصدها مباشرة، لكن من الممكن قياس التأثيرات الدالة على وجودها.

ازدواجية الموجة/ الجسيمة **Wave/ particle duality**

مفهوم من ميكانيكا الكم ينص على أنه لا فرق بين الموجات والجسيمات، فالجسيمات قد تسلك مثل الموجات، والموجات قد تسلك مثل الجسيمات.

طول الموجة Wavelength

بالنسبة للموجة هو المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متجاورين (متتاليين).

القوى الضعيفة Weak force

ثاني أضعف القوى الأساسية الأربع بعد الجاذبية، وهي قصيرة المدى جدًا. وهي تؤثر في جميع الجسيمات المادية ولا تؤثر في الجسيمات حاملة القوى Force-Carrying particles

الوزن **Weight**

القوة التي تمارس على الجسم بوساطة مجال الجاذبية، وهي تتناسب مع كتلتها لكنها لا تساويها.

ثقب دودي **Wormhole**

أنبوبة رقيقة في الزمكان تصل بين المناطق البعيدة عن بعضها في الكون. وقد تصل هذه الثقوب الدودية بين العوالم الموازية أو المبكرة، ومن الممكن أن تزودنا بإمكانية السفر عبر الزمان.

كان كتاب ستيفن هوكنج "موجز تاريخ الزمن A Brief History of Time الذي حقق أفضل المبيعات، علامة مميزة في الكتابة العلمية. ويرجع السبب في ذلك إلى صوت المؤلف الواعد والموضوعات الملحة التي تناولها: طبيعة المكان والزمان، ودور الرب في الخلق، وتاريخ ومستقبل العالم. ومنذ أن نشر الكتاب دأب القراء مراراً على مخاطبة الأستاذ هوكنج وإخباره بالصعوبة التي يلقونها في فهم الموضوعات الأكثر أهمية في الكتاب.

هذا هو السبب والأصل وراء إصدار كتاب " تاريخ أكثر إيجازاً للزمن"

A Briefer History of Time : ويود المؤلفان أن يجعلا محتواه أكثر قبولاً من القراء - وكذلك تحديثه بأحدث المشاهدات والاكتشافات.

ومع أن هذا الكتاب أكثر إيجازاً بشكل حرفي، إلا أنه يسهب في الموضوعات الكبرى للكتاب الأصلي. فقد تم حذف مفاهيم تقنية بحتة مثل رياضيات الظروف الحدية العشوائية. وفي المقابل تم فصل موضوعات ذات أهمية خاصة، كان من الصعب تتبعها لانتشارها خلال الكتاب الأصلي، وأصبحت تشغل فصولاً مستقلة، بما في ذلك النسبية وتحدب الفضاء ونظرية الكم.

وقد منحت إعادة الترتيب المؤلفين إمكانية توسيع المساحات ذات الأهمية الخاصة والحديثة لتغطي من تطوير نظرية الأوتار وحتى التطورات المثيرة في البحث عن النظرية الموحدة الشاملة لجميع القوى في الفيزياء. ومثل الطبعات السابقة للكتاب - بل أكثر من ذلك - سيقوم "تاريخ أكثر إيجازاً للزمن" بإرشاد العلماء في كل مكان خلال متابعتهم للبحث الجاري عن الأسرار الملحة في قلب الزمان والمكان وتجعل من "تاريخ أكثر إيجازاً للزمن" إضافة مبهجة عن صدق لأدبيات العلم.

كتاب رائع ومشرق... في إشراقة الشمس.

نيويوركر

يزاوج هذا الكتاب بين دهشة الطفل وذكاء العبقري. ونحن نطوف في عالم هوكنج مشدوهين بعقله.

سنداي تايمز (لندن)

بحب وإثارة... يمتلك هوكنج بوضوح ملكة معلم بالطبيعة.

نيويورك تايمز

ملخص بارع لما يفكر فيه الفيزيائيون الآن حول العالم ومن أي شيء هو مصنوع وكيف أصبح على حاله.

صحيفة "وول ستريت"

كلمة
KALIMA

دار العين للنشر
Ain for publishing

الببليوغرافيا ، مواضيع عامة
الفلسفة، علم النفس
الدين وعلم اللاهوت
القانون والعلوم الاجتماعية والعلوم التربوية
العلوم الطبيعية والدقيقة/ التطبيقية
الفنون، والألعاب والرياضة
الأدب
التاريخ والجغرافيا وكتب السيرة

ISBN ٩٧٨-٩٧٧-٦٢٣٠-٠٠-٢
١٦٨ صفحة
6 224007 220245